Pouillet's
Lehrbuch der Physik
und
Meteorologie,
für
deutsche Verhältnisse frei bearbeitet
von

Dr. J. Müller,
Professor der Physik und Technologie an der Universität zu Freiburg im Breisgau.

In zwei Bänden.

Zweiter Band.

Vierte umgearbeitete und vermehrte Auflage.

Mit 1404 in den Text eingedruckten Holzschnitten, 5 farbigen und 3 schwarzen Kupfertafeln.

Braunschweig,
Druck und Verlag von Friedrich Vieweg und Sohn.
1853.

Lehrbuch

der

Physik und Meteorologie

von

Dr. Joh. Müller,

Professor der Physik und Technologie an der Universität zu Freiburg im Breisgau.

Als

vierte umgearbeitete und vermehrte Auflage

der Bearbeitung

von

Pouillet's Lehrbuch der Physik.

In zwei Bänden.

Zweiter Band.

Mit 1404 in den Text eingedruckten Holzschnitten, 5 farbigen und 3 schwarzen Kupfertafeln.

Braunschweig,

Druck und Verlag von Friedrich Vieweg und Sohn.

1853.

Lehrbuch

der Physik und Meteorologie

von
Dr. Joh. Müller.

Vierte umgearbeitete und vermehrte Auflage

der Bearbeitung

von

Pouillet's Lehrbuch der Physik.

In zwei Bänden.

Zweiter Band.

Mit 1000 in den Text eingedruckten Holzschnitten, 5 Tafeln ...

Braunschweig,
Druck und Verlag von Friedrich Vieweg und Sohn.
1853.

Sechster Abschnitt.

Magnetismus und Elektricität.

Erste Abtheilung.

Magnetismus.

Erstes Kapitel.

Von der gegenseitigen Wirkung der Magnete auf einander und auf magnetische Körper.

Man findet im Schoße der Erde Eisenerze, welche die Eigenschaft haben, 1
Eisen anzuziehen. Schon den Alten war dies bekannt und sie nannten die Mineralien, an welchen sie diese Eigenschaft beobachteten, Magnete, nach der Stadt Magnesia, in deren Nähe sie sich fanden. Gegenwärtig, wo man die Fähigkeit, Eisen anzuziehen, auch dem Stahl bleibend mittheilen kann, unterscheidet man natürliche und künstliche Magnete.

Um die anziehende Kraft zu zeigen, welche ein Magnet auf das Eisen ausübt, kann man folgende Versuche anstellen:

1) Wenn man einen Magneten mit einem Ende in Eisenfeile taucht, so sieht man, daß die Metalltheilchen sich an seine Oberfläche anhängen, daß sich ferner ein Eisentheilchen an's andere hängt, und sich so Büschel von der Länge einiger Linien bilden.

2) Wenn man einem Magneten, je nach seiner Stärke, größere oder kleinere Stücke Eisen nähert, so scheinen sie in einer Entfernung von einigen Linien vom Magnet gleichsam leichter zu werden; sie werden gegen seine Oberfläche hingezogen und bleiben dann an derselben hängen; um sie wieder abzureißen, hat man nach Umständen eine größere oder kleinere Kraft nöthig.

3) Wenn man eine kleine Eisenkugel an einem biegsamen Faden aufhängt und nach und nach einen Magneten nähert, so sieht man, wie das Pendel sich merklich von der Richtung der Vertikalen entfernt. Man kann auf diese Art selbst

mehrere charakteristische Eigenschaften der magnetischen Anziehungskraft nachweisen, nämlich 1) daß sie in die Ferne wirkt; 2) daß sie eben so durch die Luft wie durch ein Vacuum, überhaupt durch alle Körper hindurch, Eisen ausgenommen, auf gleiche Weise wirkt; 3) daß sie mit wachsender Entfernung an Stärke abnimmt.

Da alle Anziehungen gegenseitig sind, so muß man schließen, daß, wenn der Magnet das Eisen anzieht, umgekehrt auch der Magnet vom Eisen nach denselben Gesetzen angezogen wird.

2 **Jeder Magnet hat eine Mittellinie und zwei Pole.** Das Eisen scheint auf den ersten Anblick in Beziehung auf den Magneten das zu seyn, was die schweren Körper für die Erdkugel sind. Auf allen Seiten zieht die Erde die schweren Körper gehen ihre Oberfläche an. Sehen wir nun, ob dies beim Magnet ebenso ist? ob die Eisentheilchen auf allen Punkten seiner Oberfläche auch gegen seinen Mittelpunkt angezogen werden? Nehmen wir das magnetische Pendel wieder zur Hand, d. h. eine kleine eiserne Kugel, welche an einem Seidenfaden aufgehängt ist. Wenn man den Magneten immer in gleiche Entfernung von der Eisenkugel hält, so findet man, daß gewisse Punkte seiner Oberfläche, wenn man sie der Kugel zuwendet, eine stärkere Ablenkung bewirken als andere. Besonders bemerkt man zwei entgegensetzte Enden, welche eine ganz besonders starke Wirkung äußern, während man an allen Punkten, welche zwischen diesen liegen, einen geringeren Effect beobachtet. Man gelangt zu demselben Resultate, mag man nun zu diesem Versuche einen natürlichen Magneten in seiner unregelmäßigen Gestalt oder einen künstlichen Magnet von cylindrischer oder prismatischer Form anwenden. In dem letzteren Falle ist der Unterschied auffallender, und man sieht bald, daß diejenigen Querschnitte des Magneten, welche seiner Mitte nahe liegen, nicht auf das Pendel wirken, während die Wirkung, welche die äußersten Punkte hervorbringen, sehr bedeutend ist. Man kann also auf der Oberfläche eines Magneten, ungefähr in der Mitte seiner Länge, eine Linie um denselben ziehen, deren Punkte gar keine anziehende Kraft auf das Eisen zeigen; man nennt diese Linie die neutrale Linie oder die Mittellinie, während die Enden des Magnetstabes, an denen sich die Wirkung auf Eisen am stärksten zeigt, die Pole heißen. Das Wort Pol wird aber auch noch in einem andern Sinne gebraucht, man bezeichnet nämlich mit demselben einen idealen Punkt im Innern des Magneten, von welchem man sich die anziehende Kraft ebenso ausgehend denken kann, wie man sich die Gesammtanziehung, welche von der Erde ausgeht, in ihrem Mittelpunkte vereinigt denkt; denn ein Eisentheilchen wird nicht allein von demjenigen Punkte des Magnets angezogen, an welchem es gerade anhängt, oder welchem es zunächst liegt, sondern von allen denjenigen, welche auf derselben Seite der Mittellinie liegen; der Angriffspunkt der Resultirenden aller dieser partiellen Anziehungen im Magnete nun wird der Pol genannt. Es wird stets leicht seyn, aus dem Zusammenhange zu ersehen, in welcher der beiden Bedeutungen das Wort Pol zu nehmen sey. In jedem Falle hat ein Magnet eine Mittellinie und zwei Pole.

Dieser Fundamentalsatz kann aber auch durch andere leichtere und noch entscheidendere Versuche dargethan werden. Man tauche einen Magneten in Eisenfeile, so wird er sich mit längeren und kürzeren Fäden bedecken, welche dem Auge sichtbar machen, wie verschieden die Anziehung an verschiedenen Punkten der Oberfläche ist. Die Fig. 1 zeigt die Erscheinung an einem natürlichen, Fig. 2 an einem künstlichen Magneten. Die Enden bedecken sich mit langen

Fig. 1.

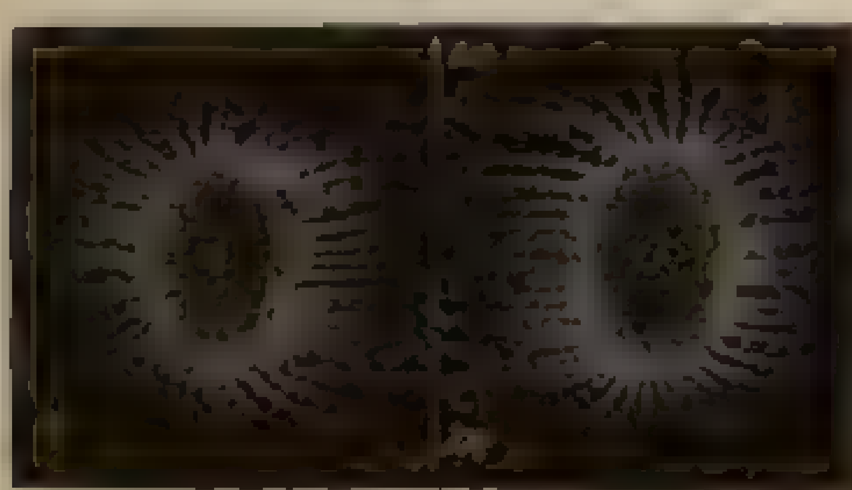


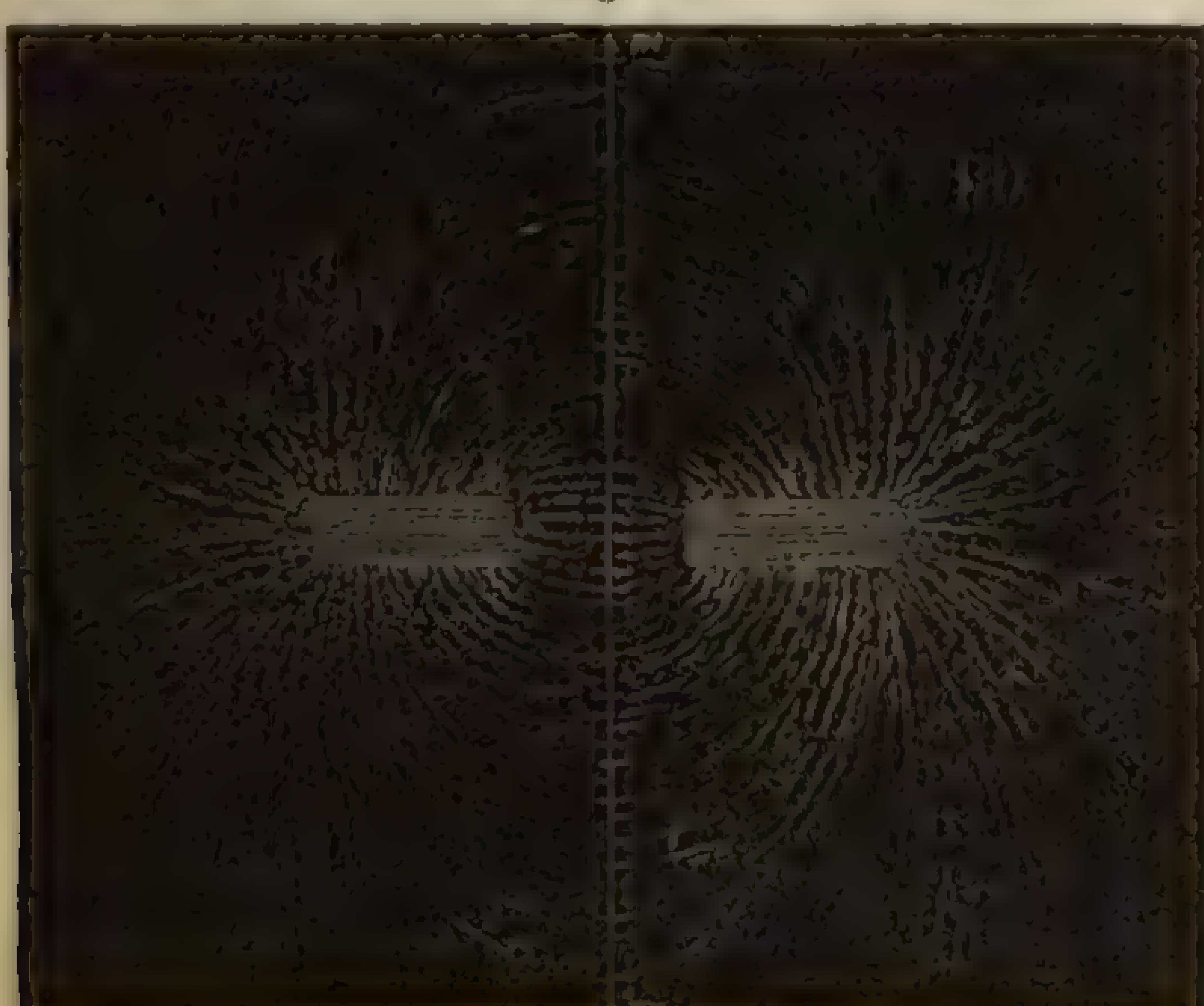
Fig. 2.



Fäden von Eisenfeile, welche rechtwinklig auf der Oberfläche stehen. An denjenigen Querschnitten, welche weiter von den Enden entfernt sind, werden die Fäden kürzer und fangen an, sich gegen die Mitte hin zu neigen, gleichsam als ob sie ein Bestreben hätten, von den Enden zu fliehen und sich der Mitte zu nähern. In der Mittellinie $m\,m'$ endlich bleibt kein Eisentheilchen hängen.

Man kann ähnliche Erscheinungen hervorbringen, wenn man auf einen Magnet ein Kartenblatt oder Papierblatt legt und Eisenfeile durch ein feines Sieb darauf fallen läßt; wenn man dann ganz schwach an das Blatt anstößt, so ordnen sich die Eisentheilchen in regelmäßige Kurven, wie man Fig. 3 sieht.

Fig. 3.



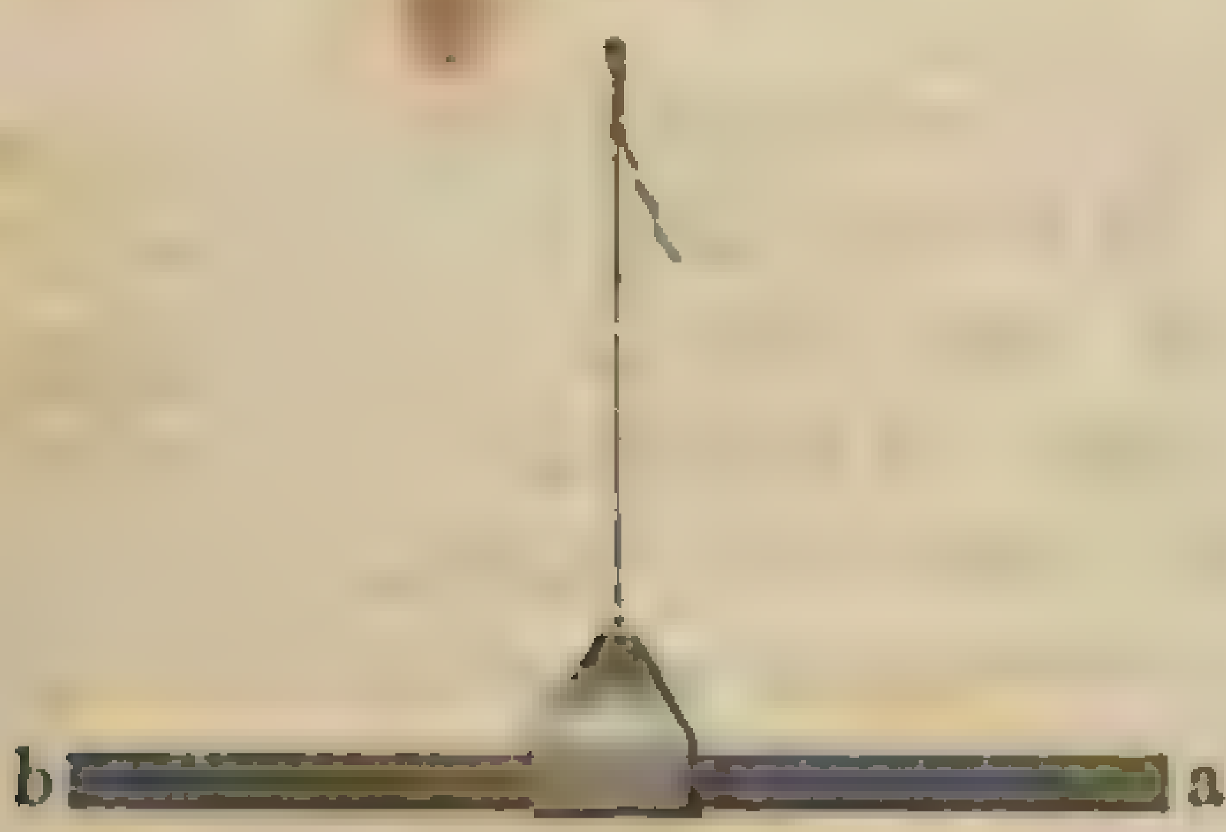
Sie zeichnen gleichsam die Gestalt des Magneten mit seinen Polen ab. Man sieht auf diese Weise sehr deutlich, wie die Fäden der Eisenfeile von den beiden Seiten der Mittellinie $m\,m'$ ausgehen, um sich auf dieser zu vereinigen. Dieser Versuch zeigt zu gleicher Zeit, daß die Anziehung des Magneten durch die Substanz des Papiers hindurchwirkt.

Man sollte auf den ersten Anblick glauben, daß, wenn man einen Magneten nach seiner Mittellinie theilt, alsdann die beiden so erhaltenen Stücke jedes für sich nicht vollständig die Eigenschaften eines ganzen Magneten haben könnten. Der Versuch ist leicht anzustellen. Bricht man ein magnetisch gemachtes Stahlstäbchen, welches ziemlich dünn und lang ist, etwa einen magnetisch gemachten Strickstock, in

zwei Stücke, so wird man finden, daß jede der beiden Hälften für sich, in Eisenfeile gelegt, ganz die Eigenschaften eines vollständigen Magneten zeigt, jedes Stück hat wieder seine beiden Pole und seine Mittellinie. Bricht man jedes Stück von Neuem durch, so sind diese zuletzt erhaltenen Stücke wieder vollständige Magnete, welche, wie der ursprüngliche, ihre Pole und ihre Mittellinie haben. Wir werden später den Grund dieser Erscheinung kennen lernen; hier genügt es, die Thatsache anzudeuten und zu zeigen, daß es unmöglich ist, einen Magneten zu bilden, welcher nur einen Pol hat.

3 **Die gleichnamigen Pole stoßen sich ab, die ungleichnamigen ziehen sich an.** Die Fig. 4 stellt einen Magneten dar, welcher, in einer Kapsel von Papier oder Metall liegend, horizontal aufgehangen ist. Wenn man nun jedem der beiden Pole *a* und *b* denselben Pol eines anderen Magneten nähert, so wird der Pol *a* angezogen, während *b* abgestoßen wird. Man nennt nun die Pole *a* und *b* ungleichnamig, weil sie sich verschieden gegen denselben ihnen genäherten Pol verhalten. Wenn man nun den Magnet, den man in der Hand hielt, umkehrt, um seinen anderen Pol dem aufgehängten zu nähern, so wird das Umgekehrte stattfinden, *a* wird abgestoßen und *b* angezogen. Die beiden Pole des bei diesem Versuche in der Hand gehaltenen Magneten sind also auch verschiedener Natur, sie sind auch ungleichnamig. Ebenso läßt sich zeigen, daß die beiden Pole eines jeden Magneten ungleichnamig sind.

Fig. 4.



Nähert man dem aufgehängten Magneten nach einander zwei verschiedene Magnete, so wird es leicht seyn, an jedem derselben denjenigen Pol zu finden, welcher den Pol *a* des aufgehängten Magneten anzieht, *b* aber abstößt. Bezeichnen wir diesen Pol des ersten Magneten mit n, den Pol des zweiten Magneten aber, welcher ebenso wirkt, mit n', so sind n und n' die gleichnamigen Pole dieser beiden Magnete. Der zweite Pol des ersten Magneten sey m, der des andern m', so wird der Pol m ebenso wie der Pol m' den Pol *a* des aufgehängten Magneten abstoßen, den Pol *b* aber anziehen. Die beiden Pole m und m' sind ebenfalls gleichnamig.

Hängen wir jetzt den Magneten, dessen Pole wir mit m und n bezeichnet haben, so auf, daß er sich in einer horizontalen Ebene frei drehen kann, nähern wir ihm den andern, so finden wir, daß die Pole m und m' sich abstoßen; ebenso die Pole n und n'; die gleichnamigen Pole stoßen sich also ab. Die Pole m und n', n und m', also die ungleichnamigen Pole, ziehen sich an.

In den beiden Hälften also, in welche ein Magnet durch die Mittellinie zerlegt wird, liegen zwei Kräfte, welche anfangs ganz identisch schienen, weil sie auf gleiche Weise auf das Eisen wirken, die aber in der That zwei ganz entgegengesetzte Kräfte sind. Die Mittellinie ist also die Gränze zweier anta-

gonistischen Kräfte, sie bildet den Uebergang von der einen zur andern, und darin liegt auch die Ursache ihrer neutralen Beschaffenheit.

Sucht man nun auf die Ursache dieser magnetischen Erscheinungen zurückzukommen, so sieht man bald, daß sie nicht wie die Schwere einer inhärirenden Eigenschaft der ponderabeln Materie zugeschrieben werden kann. Die natürlichen Magnete sind ihrer chemischen Zusammensetzung nach Eisenoxyd-Oxydul, sie bestehen also nur aus Eisen und Sauerstoff. Nun hat aber keines dieser Bestandtheile für sich die Eigenschaft, magnetische Wirkungen hervorzubringen, und es ist sehr unwahrscheinlich, daß ihre Moleküle, indem sie sich verbinden, ganz neue wesentliche Eigenschaften erhalten sollten, die sie vor ihrer Verbindung nicht hatten. Man hat bis jetzt an ponderabelen Materien noch nie beobachtet, daß die Form, das Arrangement der Theilchen, die Ursache von neuen in die Ferne wirkenden Kräften ist. Von einer andern Seite betrachtet, können die inhärirenden Kräfte der ponderabelen Materie wohl vermehrt und vermindert oder auf mannigfache Weise modificirt werden, man kann sie aber niemals gänzlich vernichten, während die magnetischen Kräfte nach Belieben zerstört und wiedererzeugt werden können. Man kann dies nachweisen, wenn man einen Magneten bis zum Rothglühen erhitzt. Er verliert dabei nichts von seinen materiellen Theilchen, und dennoch hat er alle magnetischen Eigenschaften verloren. Nach dem Erkalten ist er, was seine Materie betrifft, vollkommen unverändert, er äußert aber auf das Eisen nicht die geringste anziehende Kraft. Man kann ihm aber, wie wir gleich sehen werden, seine magnetischen Eigenschaften bald wieder ertheilen, ohne ihm an ponderabeler Materie auch nur das Mindeste hinzuzufügen oder wegzunehmen.

Man ist durch diese Gründe dahin geführt worden, den Magnetismus als eine Flüssigkeit von ganz eigenthümlicher Art zu betrachten, welche in der ponderabelen Masse der Magnete verbreitet ist. Da wir nun aber zwei entgegengesetzte magnetische Kräfte kennen gelernt haben, müssen wir auch zwei entgegengesetzte magnetische Flüssigkeiten annehmen, von welchen die eine am einen, die andere am andern Pole vorherrscht. In gleichnamigen Polen prädominirt dieselbe Flüssigkeit, und da sie sich abstoßen, so müssen wir schließen, daß jede Flüssigkeit sich selbst abstößt; ungleichnamige Pole aber enthalten die entgegengesetzten Flüssigkeiten, und diese ziehen sich an.

Solche Flüssigkeiten müssen auch im Eisen vorhanden seyn, denn wenn sie von der ponderabelen Materie verschieden sind, so muß man annehmen, daß sie nicht auf die materiellen Theilchen des Eisens selbst, wohl aber auf die in denselben enthaltene magnetische Flüssigkeit wirken.

Ob nun wirklich ein solches magnetisches Fluidum existirt, läßt sich freilich durch ein solches Raisonnement nicht darthun; wir halten aber an dieser Vorstellungsweise fest, weil wir bei dem gegenwärtigen Zustande unserer Naturkenntniß keine bessere Theorie substituiren können. Unsere Theorie genügt dem gegenwärtigen Standpunkte der Wissenschaft, sie macht es möglich, alle die verschiedenen magnetischen Erscheinungen unter einem Gesichtspunkte zu vereinigen.

4 **Unter dem Einfluß eines Magneten wird das Eisen selbst zum Magnet.** Um diese Eigenschaften des Eisens zu beweisen, kann man den Versuch so anstellen, wie Fig. 5 angedeutet ist. Ein Cylinder *f* von Eisen sey durch einen Magnet *a b* getragen; wenn man nun dem untern Ende dieses Cylinders Eisenfeile nähert, so hängt sie sich in Form eines Büschels an und bleibt so lange daran hängen, als der kleine Cylinder an dem Magneten hängt; sobald man ihn aber abreißt, fällt auch die Eisenfeile wieder ab. Man beobachtet im Eisen keine anziehende Kraft mehr. Man kann diese Erscheinung nicht der in die Ferne wirkenden Kraft des Magneten zuschreiben, denn wenn der kleine Cylinder nicht von Eisen wäre, so würde man dieses Phänomen nicht beobachten; man wird sich aber noch mehr davon überzeugen, wenn man beobachtet: 1) daß die Fäden der Eisenfeile vom Ende des kleinen Cylinders an immer kleiner werden; 2) daß sich gegen sein oberes Ende hin ein Punkt findet, wo die Eisenfeile gar nicht mehr anhängt, daß der kleine Cylinder also eine magnetische Mittellinie hat, 3) daß über diesem Punkte die Eisenfeile wieder anhängt, daß die Fäden aber eine entgegengesetzte Richtung haben. Der kleine Cylinder ist also ein förmlicher Magnet, er zieht Eisenfeile an, er hat zwei Pole und eine Mittellinie, nur fällt diese magnetische Mittellinie nicht mit der geometrischen zusammen.

Fig. 5.



Anstatt dem angehängten Cylinder Eisenfeile zu nähern, kann man einen ähnlichen Cylinder anhängen, Fig. 6, welcher auch getragen wird; an diesen kann man einen dritten hängen, welcher wieder einen vierten trägt u. s. w. Man kann auf diese Weise eine Kette bilden, die oben durch den Magneten begränzt ist; nimmt man diesen weg, so fällt die ganze Kette auseinander, weil keine Kraft mehr da ist, welche die Glieder zusammenhält.

Fig. 6.



Fig. 7.



Man kann dasselbe beweisen, wenn man den kleinen Cylinder von Eisen in der Richtung der Längenaxe des Magnets an denselben anlegt und beide auf ein Blatt von weißem Papier bringt. Eisenfeile, welche man darauf streut, ordnet sich regelmäßig und zeigt in *m m'* eine Mittellinie, Fig. 7, welche die beiden entgegengesetzte Actionen trennt, die nun im Eisencylinder thätig sind. Sobald man aber den Magneten wegzieht, hat die Eisenfeile kein Bestreben mehr sich regelmäßig zu ordnen, noch das ursprüngliche Arrangement beizubehalten, was beweis't, daß das Eisen seine magnetischen Eigenschaften, die es unter dem Einflusse des Magneten angenommen hatte, wieder verliert. Wenn man den Versuch modificirt, kann man beweisen, daß das Eisen nicht allein durch den unmittelbaren Contact mit dem Magneten

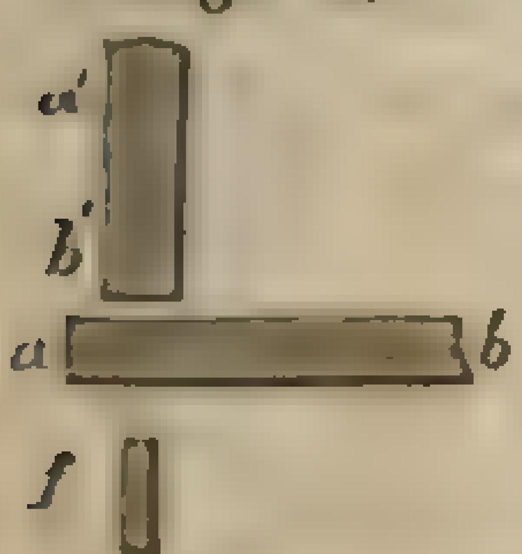
die magnetischen Eigenschaften erhält, sondern daß es sie schon in einiger Entfernung vom Magneten erhält, wie man Fig. 8 sieht.

Fig. 8.



Das Eisen enthält also ursprünglich die beiden magnetischen Flüssigkeiten; allein sie sind **verbunden**, die eine neutralisirt die andere. Deshalb zeigt das Eisen keine magnetischen Wirkungen, denn was die eine Flüssigkeit anzieht, stößt die andere mit gleicher Kraft ab, die Gesammtwirkung ist also Null. Wenn aber das Eisen der Einwirkung eines Magneten ausgesetzt wird, so werden die beiden Flüssigkeiten von einander getrennt, die eine wird vom Magnet angezogen, die andere aber abgestoßen. Das Eisen magnetisiren heißt also: die magnetischen Flüssigkeiten trennen. Der folgende Versuch ist sehr geeignet, dies anschaulich zu machen. Ein horizontaler Magnet *ab*, Fig. 9, trägt an seinem Ende eine Eisenmasse *f*, deren Gewicht der Gränze dessen ziemlich nahe liegt, was der Magnet überhaupt zu tragen im Stande ist. Ueber *ab* nähert man nun einen anderen Magneten *a'b'* von gleicher Stärke, aber so, daß die entgegengesetzten Pole *a* und *b'* einander zugekehrt sind. Wenn man nun diesen zweiten Magnet auf die erwähnte Art allmälig nähert, so fällt das Eisenstück *f* herab. Die beiden Magnete zusammengenommen können also nicht tragen, was jeder für sich zu tragen vermag. Man sieht den Grund davon leicht ein: der zweite Magnet zerstört die Wirkung des ersteren, indem er die Flüssigkeiten der Eisenmasse *f* in entgegengesetztem Sinne zerlegt.

Fig. 9.



Die magnetische Flüssigkeit geht weder von einem Magneten auf das Eisen über, noch von einem Molekül des Eisens auf das benachbarte. Mit einem Magneten kann man so viele Eisenstücke magnetisch machen, als man nur will, ohne daß er auch nur im Mindesten von seiner anziehenden Kraft verliert. Bei dieser Operation geht also nichts von der magnetischen Flüssigkeit auf das Eisen über, weil sich ja sonst der Magnet erschöpfen müßte. Ferner bemerkt man, daß ein Stück Eisen, welches während der ganzen Zeit, in welcher es mit einem Magnet in Berührung bleibt, magnetisch ist, keine Spur von Magnetismus behält, wenn man es von dem Magnet wegnimmt, es kann also nichts auf das Eisen übergegangen seyn. Endlich hat jeder Cylinder von Eisen, so lange er mit dem Magneten in Berührung bleibt, eine Mittellinie und zwei Pole, woraus hervorgeht, daß er beide Flüssigkeiten enthält, und doch könnte er ohne Zweifel von dem Magneten nur eine Flüssigkeit erhalten, wenn überhaupt etwas von dem Magneten überginge. Die magnetische Flüssigkeit geht also nicht von einem Körper zum andern über. 5

Man sollte demnach denken, daß sich die magnetischen Flüssigkeiten in den

magnetischen Körpern wie in vollkommen verschlossenen Gefäßen befänden, daß sie sich aber doch im Innern frei bewegen könnten; daß sie also durch äußere Einwirkungen getrennt und jedes der beiden Fluida an einer anderen Stelle des Eisens angehäuft werden könnte, so daß am einen Pol vorzugsweise die eine, am anderen Pole die andere Flüssigkeit sich vorfindet. Diese Vorstellungsweise liegt wenigstens am nächsten, wenn man die erwähnten Erscheinungen der magnetischen Vertheilung betrachtet. Bei näherer Betrachtung ergiebt sich jedoch bald, daß es nicht so ist. Bringen wir einen Eisendraht mit einem Magneten in Berührung, so wird er selbst magnetisch, und wenn die eben erwähnte Vorstellung richtig wäre, so müßte sich, wenn man den Draht nach seiner Mittellinie durchschneidet, in jeder Hälfte nur eine Flüssigkeit vorfinden. Es ist aber nicht so; das Stück, welches am Magneten hängen bleibt, ist noch immer ein vollständiger Magnet, das Stück aber, welches herabgefallen ist, zeigt keine Spur von Magnetismus, es enthält also beide Fluida in gleichem Maaße, in gleichmäßiger Vertheilung. In dem abgeschnittenen Drahtstücke konnte also nicht die eine der beiden Flüssigkeiten in dieser Weise angehäuft seyn.

Die Erscheinungen der magnetischen Vertheilung scheinen uns also zu Widersprüchen zu führen, welche jedoch durch folgende Vorstellungen gehoben werden. Die magnetischen Fluida können nicht von einem Molekül zum andern übergehen, sie können aber in jedem Molekül für sich getrennt werden, so daß man die Moleküle selbst theilen müßte, wenn man jede der beiden Flüssigkeiten isolirt darstellen wollte. Einen Magnet oder einen magnetisirten Eisenstab müssen wir uns, wie Fig. 10 anschaulich macht, aus kleinen Theilchen zusammengesetzt denken, deren jedes die beiden Fluida, aber im getrennten Zustande, enthält; und zwar findet die Vertheilung der magnetischen Fluida in jedem Theile in der Weise Statt, daß das gleichartige Fluidum in allen Theilchen nach derselben Seite hingekehrt ist. An dem linken Ende des Fig. 10 dargestellten Magneten ist also nur die eine, am rechten Ende nur die andere Flüssigkeit vorhanden; die Polarität des Magneten ist also erklärt. Man begreift nach dieser Vorstellungsweise recht gut, daß man einen Magnet in zwei Theile zerbrechen kann und daß jedes Stück für sich wieder ein vollständiger Magnet ist.

Fig. 10.



6 **Der Stahl nimmt alle magnetischen Eigenschaften an.** Man kann zu den oben erwähnten Versuchen Feilspähne von Stahl ebenso gut anwenden wie Eisenfeile.

Die Stahlfeile hängt sich an den Magneten an und bildet Büschel von merklicher Länge, nur ist die Einwirkung des Magneten auf die Stahlfeile etwas langsamer. Nimmt man aber Stahlstücke von bedeutenderem Volumen und namentlich Stücke von gut gehärtetem Stahl, so zeigen sie ein ganz anderes Verhalten als Eisen, denn es scheint, als ob ein Magnet nur schwach auf sie einwirkte. Wiederholt man den Fig. 11 angedeuteten Versuch mit

Fig. 11.



Cylindern von Stahl, so hängt sich schon der erste Cylinder nicht so leicht an, man kann mit Stahl keine so lange Kette bilden, wie mit Eisen. Da jedoch kleine Stahlstücke angezogen werden, so können wir unmöglich annehmen, daß ein größeres Stück dieser Substanz gegen den Magnetismus durchaus unempfindlich seyn soll. In der That, wenn man ein Stahlstück längere Zeit, etwa $^1/_4$, $^1/_2$ Stunde, mit dem Magnet in Berührung läßt, so findet man, daß es magnetisch geworden ist. Seine magnetische Kraft nimmt mit der Dauer der Berührung zu, und endlich wird der Stahl ebenso magnetisch wie das Eisen. Man kann die längere Berührungsdauer auch dadurch ersetzen, daß man das Stahlstück mit einem Magneten mehrmals in einerlei Richtung bestreicht. Der gehärtete Stahl zeigt also die charakteristische Eigenschaft, daß er nur durch längere Berührungsdauer mit dem Magneten oder durch wiederholtes Streichen vollkommen magnetisch gemacht werden kann. Eine zweite charakteristische Eigenschaft des Stahls ist es aber, daß, wenn er einmal magnetisch ist, er für immer magnetisch bleibt, was beim Eisen nicht der Fall ist. Um dies zu beweisen, braucht man nur ein Stahlstück, welches man mit einem Magneten gestrichen hat, in Eisenfeile zu legen, und man wird alsbald erkennen, daß es seine Mittellinie und seine beiden Pole hat. Wiederholt man den Versuch einen Tag, einen Monat, ein Jahr nachher, so wird man finden, daß das Stahlstück wenig an magnetischer Kraft verloren hat. Ein auf die erwähnte Weise behandeltes Stück Stahl hat für immer alle charakteristischen Eigenschaften eines Magneten.

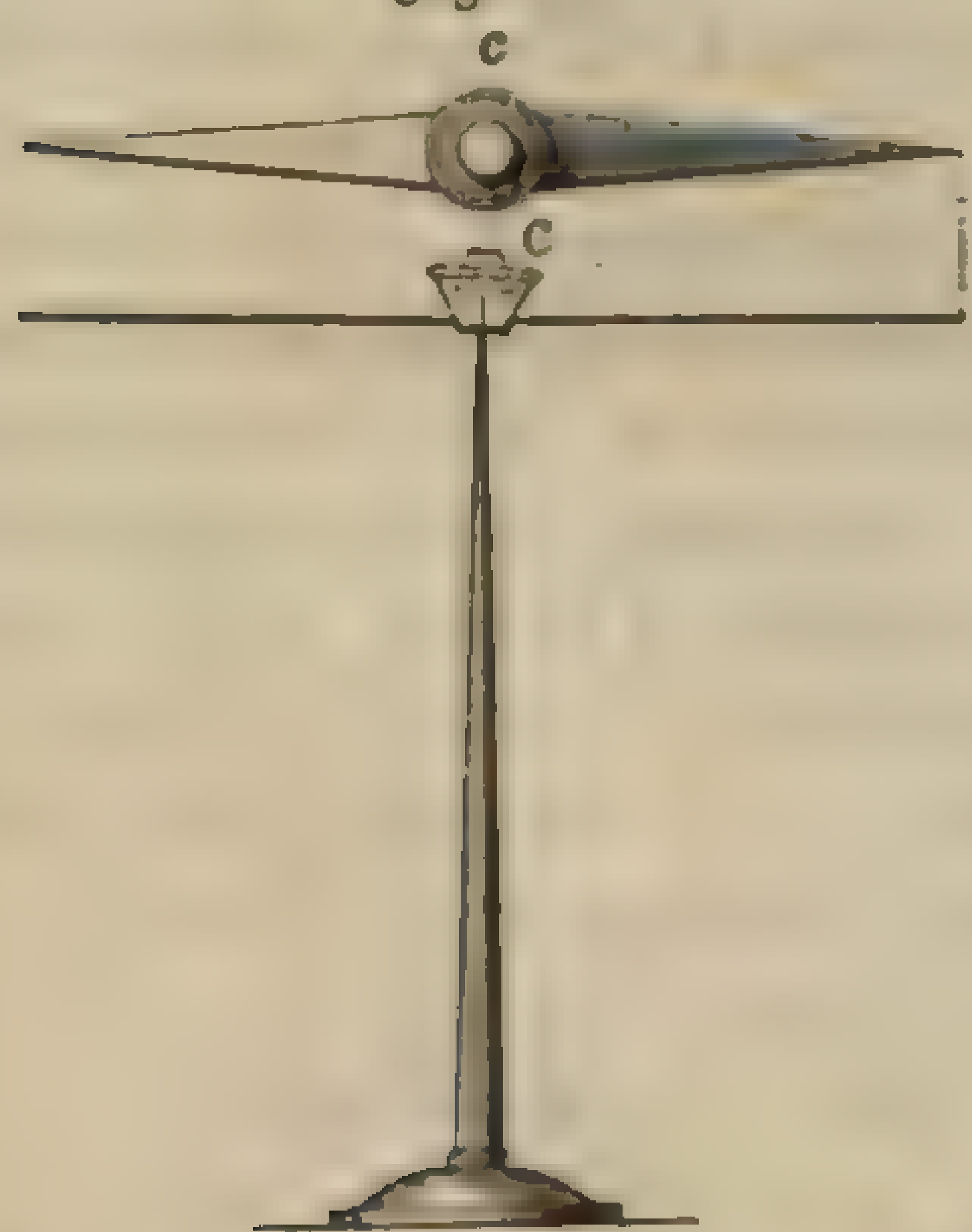
Weil der Stahl ursprünglich der magnetischen Einwirkung widersteht, so schließt man, daß in ihm eine Kraft vorhanden sey, welche der Trennung der magnetischen Fluida entgegenwirkt; man nennt diese Kraft Coërcitivkraft. Weil aber auch der Stahl den Magnetismus behält, welchen man ihm mitgetheilt hat, so muß auch eine Kraft vorhanden seyn, welche sich der Wiedervereinigung der einmal getrennten magnetischen Fluida, die sich fortwährend zu verbinden, sich zu neutralisiren streben, widersetzt; denn wenn eine solche Kraft nicht vorhanden wäre, so würden sich die getrennten Fluida alsbald wieder vereinigen, der Stahl würde alsbald wieder in seinen natürlichen Zustand zurückkehren, sobald die zerlegende Wirkung des Magneten aufhört, wie es ja beim weichen Eisen wirklich der Fall ist. Diese, der Wiedervereinigung der getrennten Fluida widerstrebende Kraft wird ebenfalls Coërcitivkraft genannt. Ob nun die Coërcitivkraft, welche der Trennung der magnetischen Fluida widerstrebt, und diejenige Kraft, welche ihre Wiedervereinigung hindert, identisch ist, darüber läßt sich bis jetzt noch nichts entscheiden.

Unter allen Körpern der Natur ist vielleicht keiner, welcher so verschiedenartiger Arrangements der Moleküle fähig ist, ohne daß sich seine chemische Zusammensetzung merklich ändert, als der Stahl. Durch verschiedene Grade des Härtens und des Anlassens kann man demselben Stück Stahl die entgegengesetztesten Eigenschaften ertheilen; man kann vollkommen elastische Federn machen;

Stäbe, welche sich wie Eisen hämmern lassen; Feilen, Meißel und andere Instrumente, welche spröde sind wie Glas. In allen diesen verschiedenen Zuständen ist auch die Coërcitivkraft des Stahls verschieden. Der härteste und sprödeste Stahl hat in der Regel auch die stärkste Coërcitivkraft. Selbst das Eisen hat einige Coërcitivkraft, wenn es gehämmert oder durch einen Drahtzug gezogen ist. Um es möglichst von derselben zu befreien, muß man es ausgleichen und langsam erkalten lassen.

Aus dem Gesagten geht hervor, daß man von Stahl Magnete machen kann, welche alle Eigenschaften der natürlichen haben; dabei hat man aber den Vortheil, daß man ihnen eine beliebige Größe und Form geben kann, wie es gerade zu unseren Untersuchungen am geeignetsten ist. Die künstlichen Magnete haben verschiedene Namen. Eine **Magnetnadel** (Fig. 12) hat in der Regel die Gestalt einer Raute; sie hat entweder in ihrer Mitte ein Achathütchen, welches man auf eine feine Stahlspitze setzt, oder sie wird an einem Faden aufgehängt. Manchmal besteht die Magnetnadel aus einem einfachen Stahldraht, einem Cylinder oder einem in die Länge gezogenen Prisma. Wenn die Dimensionen der Nadel zu groß sind, so reicht es, um sie zu magnetisiren, nicht mehr hin, sie einige Mal an einem Magneten hin- und herzustreichen, man muß in diesem Falle zu besonderen Verfahrungsarten seine Zuflucht nehmen, welche wir weiter unten näher werden kennen lernen.

Fig. 12.



Es kommt manchmal vor, daß ein Magnet außer den beiden Polen am Ende noch andre hat, welche man Folgepunkte nennt. Ihre Gegenwart läßt sich durch eine Probenadel nachweisen, wie man Fig. 13 sieht. Wenn diese horizontal hängt, so nähert man ihr den zu prüfenden Stab in vertikaler Stellung, bewegt ihn auf und nieder, so daß alle seine Punkte der Reihe nach an demselben Pole der beweglichen Nadel vorübergehen. Wenn keine Folgepunkte vorhanden sind, so beobachtet man nur einmal Anziehung und einmal Abstoßung. Wenn aber ein Folgepunkt vorhanden ist, so beobachtet man zwei Abwechselungen, z. B. eine Anziehung, eine Abstoßung und dann wieder eine Anziehung. Wenn zwei Folgepunkte vorhanden sind, so beobachtet man einen dreimaligen Wechsel ꝛc.

Fig. 13.



Die Folgepunkte können aber auch noch dadurch sichtbar gemacht werden, daß man den Magnet in Eisenfeile taucht, oder daß man ihn unter ein Papierblatt legt, auf welches man Eisenfeile fallen läßt, wobei man dann die Erscheinung Fig. 14

beobachtet. Wir werden weiter unten sehen, wie die Folgepunkte entstehen, wie man sie wegbringen und vermeiden kann, was für die Construction der Boussolen von der größten Wichtigkeit ist.

Fig. 14.



Zweites Kapitel.

Von der magnetischen Wirkung der Erde.

Richtung der Magnete, Declination und Inclination. Eine an 7
einem Seidenfaden horizontal aufgehängte oder auf einer feinen Spitze bewegliche Magnetnadel ist nicht in jeder Lage im Gleichgewichte, sie nimmt eine bestimmte Stellung ein, indem sie sich gegen einen bestimmten Punkt des Horizonts richtet. Wenn man sie aus dieser Lage herausbringt, so kehrt sie immer nach einer Reihe von Oscillationen in dieselbe zurück.

Der magnetische Meridian ist diejenige vertikale Ebene, welche man sich durch diese Richtungslinie des horizontalen Magneten gelegt denken kann, oder auch nur der Durchschnitt dieser Ebene mit der Erdoberfläche. Der magnetische Meridian eines Ortes macht nun mit dem astronomischen Meridian einen Winkel, welchen man die Declination oder Abweichung nennt. Die Declination ist östlich oder westlich, je nachdem die Magnetnadel nach der einen oder nach der andern Seite des astronomischen Meridians abweicht. In Fig. 15 a. f. S. z. B. stellt *s n* den Meridian eines Ortes dar, *a b* aber die Richtung der horizontalen Magnetnadel an demselben Orte. Die westliche Declination betrug zu Göttingen im Januar 1837 18° 37′ 30,55″; wir werden bald sehen, daß die Declination mit der Zeit sich ändert. Es giebt Orte auf der Erde, wo die Richtung der Magnetnadel vollständig mit dem Meridian zusammenfällt; an diesen Orten ist natürlich die Declination gleich Null.

Jeder Apparat, welcher dazu dient, die Declination zu messen, heißt eine **Declinationsbussole**.

Fig. 16 a. f. S. stellt eine solche Bussole ziemlich einfacher Art vor. Die Spitze,

auf welche die Nadel aufgesetzt ist, ist der Mittelpunkt eines getheilten Horizontalkreises, welcher um eine vertikale Axe in seiner eigenen Ebene umgedreht

Fig. 15.

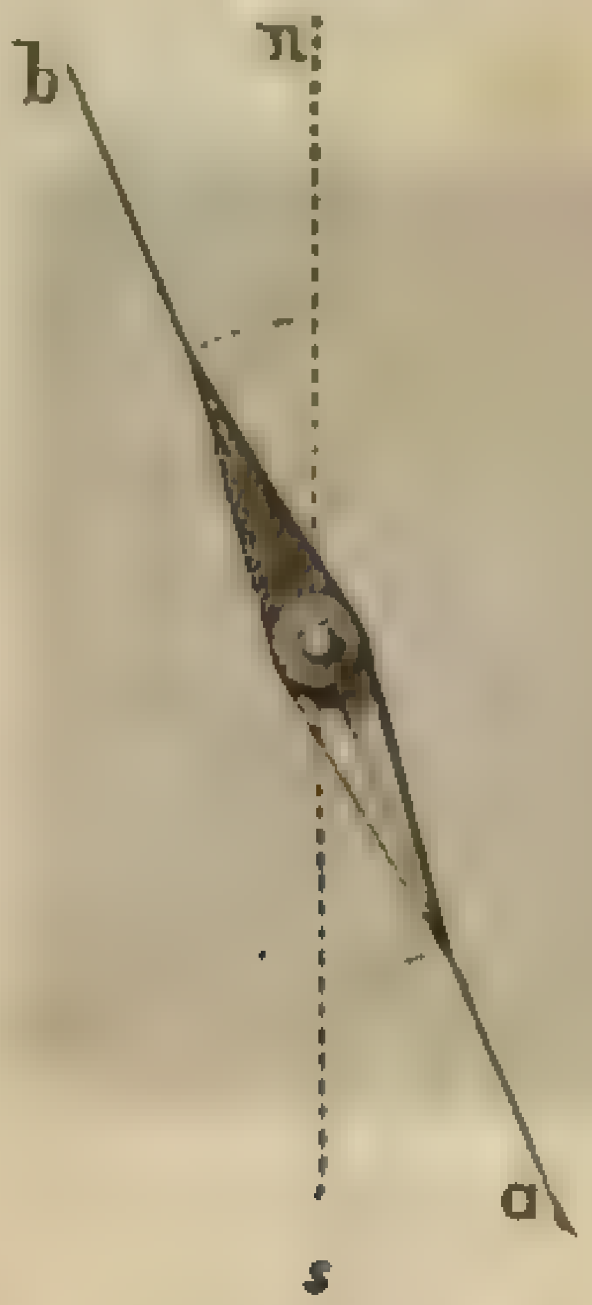
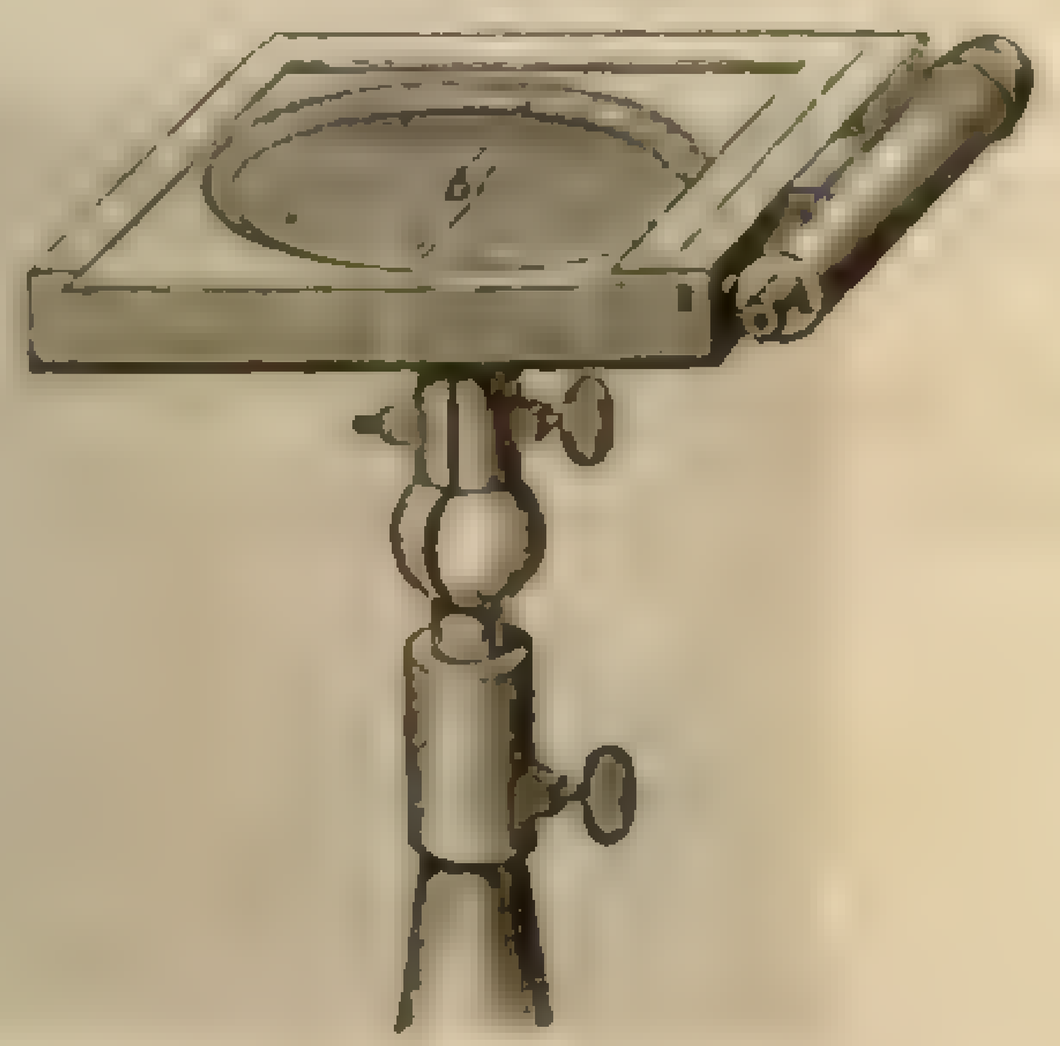


Fig. 16.



werden kann. An der Seite des Gehäuses ist ein Fernrohr angebracht, dessen Axe mit derjenigen Linie parallel läuft, welche man sich vom Nullpunkte des getheilten Kreises über seinen Mittelpunkt zum Theilstriche 180′ gezogen denken kann. Je nachdem man den Horizontalkreis in seiner Ebene umdreht, wird die Spitze der Magnetnadel auf andere Theilstriche zu stehen kommen. Wenn man den Apparat so stellt, daß die Nadel gerade auf den Nullpunkt der Theilung zeigt, so ist die Axe des Fernrohrs mit der Nadel parallel, sie fällt mit dem magnetischen Meridian zusammen; bei jeder anderen Stellung aber zeigt die Nadel auf denjenigen Theilstrich des Kreises, welcher angiebt, wie viel Grade der Winkel beträgt, welchen die Richtung der Nadel mit der Axe des Fernrohrs (oder vielmehr der Horizontalprojection der Fernrohraxe) macht; wenn man also das Fernrohr genau in den astronomischen Meridian bringt, so kann man auf dem Theilkreise ablesen, welchen Winkel der magnetische Meridian mit dem astronomischen macht.

Dieses Instrument kann nun überhaupt als Winkelmeßinstrument dienen, weil man mit Hülfe desselben jederzeit den Winkel bestimmen kann, welchen die Visirlinie des Fernrohrs (oder vielmehr ihre Horizontalprojection) mit dem magnetischen Meridian macht.

Die Declinationsbussole, deren sich die Seefahrer bedienen, ist unter dem Namen des Compasses bekannt.

Im Ganzen nähert sich die Richtung der Magnetnadel mehr der Richtung von Norden nach Süden als der von Osten nach Westen, daher man denn gewöhnlich sagt, die Magnetnadel zeigt nach Norden.

Die Magnetnadeln, welche wir bisher betrachtet haben, sind in einer Weise aufgehängt, daß sie sich nur in einer horizontalen Ebene, also um eine vertikale Axe drehen können. Sowohl bei der Fig. 4, als auch bei der Fig. 12 dargestellten Aufhängung ist die horizontale Stellung dadurch gesichert, daß der Schwerpunkt der Nadel unter dem Aufhängepunkte liegt. Sobald man aber eine

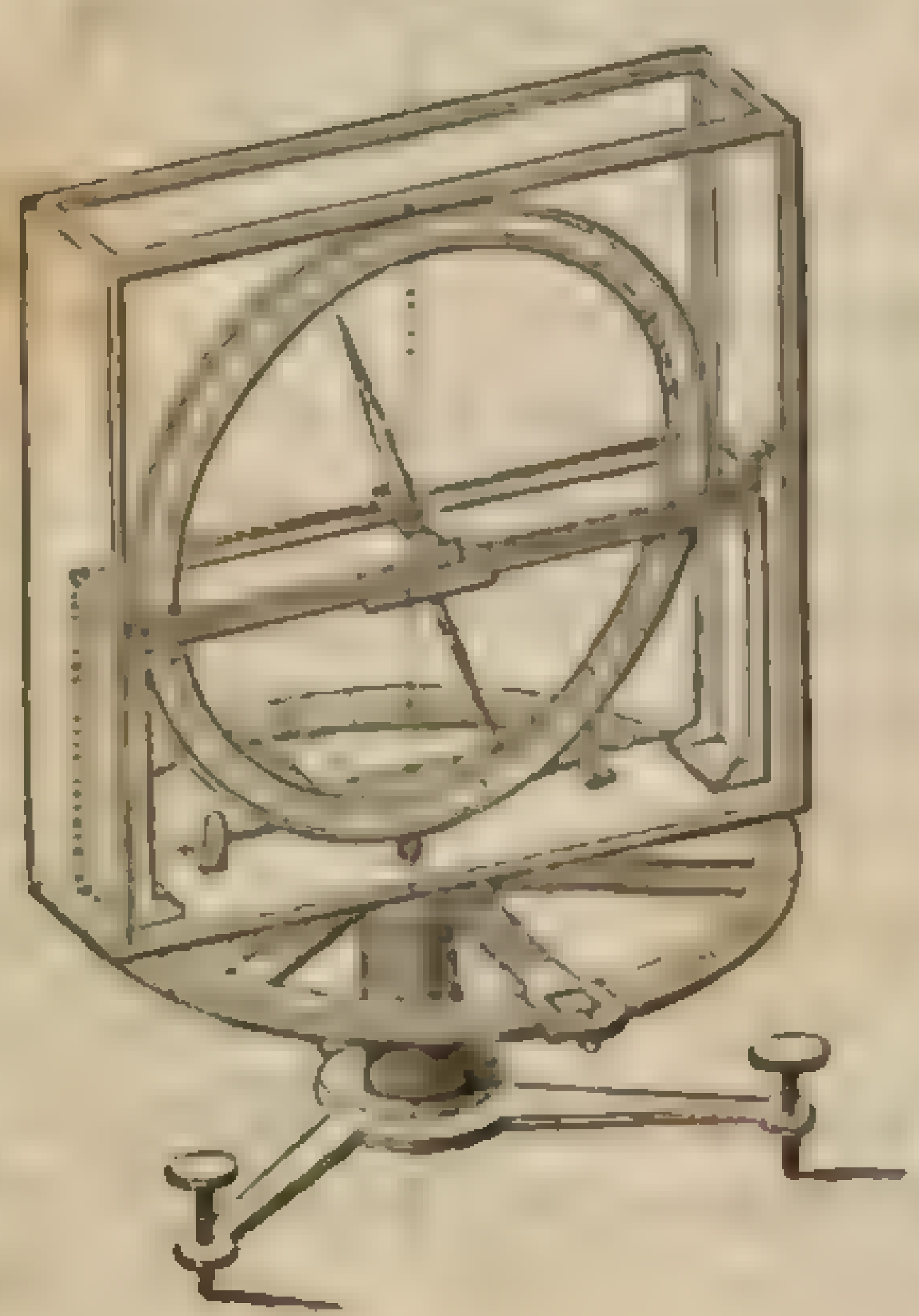
Magnetnadel in ihrem Schwerpunkte selbst aufhängt, so bleibt sie nicht mehr wagerecht stehen, sondern sie macht einen Winkel mit der Horizontalen, welcher den Namen der **Inclination** führt.

Der Fig. 17 abgebildete Apparat ist sehr geeignet, die Inclination der Magnetnadel zu zeigen. An einem Rahmen von Messing, welcher an einem Faden aufgehängt ist, befindet sich eine sehr leicht bewegliche horizontale Axe *a b*, welche durch den Schwerpunkt einer Magnetnadel geht. Man sieht, daß eine so aufgehängte Magnetnadel um eine vertikale und um eine horizontale Axe sich drehen und also dem richtenden Einflusse der Erde ganz frei folgen kann. Die Nadel stellt sich nun so, daß ihre Richtungslinie in den magnetischen Meridian fällt; das nach Norden gekehrte Ende der Nadel aber senkt sich, die Richtungslinie der Nadel macht also einen Winkel mit der Horizontalen, der in unseren Gegenden ungefähr 70° beträgt.

Fig. 17.



Fig. 18.



Wenn die Inclinationsnadel in einem getheilten Vertikalkreise angebracht ist, dessen Ebene mit der Umdrehungsebene der Nadel zusammenfällt, wie Fig. 18, so kann man auf diesem Kreise die Größe der Inclination ablesen, wenn man dafür sorgt, daß die Ebene des Vertikalkreises genau in den magnetischen Meridian fällt.

Solche Apparate, welche dazu dienen, die Inclination zu messen, heißen **Inclinatorien** oder **Inclinationsbussolen**.

Die Größe der Inclination nimmt im Allgemeinen zu, je mehr man nach Norden kommt; an manchen Orten nimmt die Inclinationsnadel eine fast senkrechte Stellung an; so beobachtete z. B. Kapitän **Philipps** im Jahre 1773 unter 79° 44′ nördlicher Breite eine Inclination von 82° 9′, und **Parry** unter 70° 47′ eine Inclination von 88° 43′. Kapitän **Roß** endlich hat den magnetischen Nordpol der Erde selbst erreicht. Unter 70° 5′ N. B. und 263° 14′ östlich von Greenwich fand er die Inclination 90°. Die Neigung der Magnetnadel ist in hohen Breiten so bedeutend, daß der Compaß für die Seefahrer seine Brauchbarkeit verliert, wie es sich bei den letzten Nordpolexpeditionen gezeigt hat.

Je weiter man hingegen nach Süden geht, desto mehr nimmt die Inclination ab, und in der Aequatorialzone kommt man zu einem Punkte, wo die Inclination Null ist, wo also die Inclinationsnadel vollkommen wagerecht steht;

geht man noch weiter nach Süden, so beobachtet man abermals eine Inclination, aber eine entgegengesetzte, es ist nun das nach Süden gekehrte Ende, welches sich tiefer stellt. Diese Inclination nimmt nun ebenfalls mit der südlichen Breite zu. In der Nähe des Südpols der Erde giebt es demnach einen zweiten Punkt, an welchem sich die Inclinationsnadel völlig vertikal stellt, und dies ist der **magnetische** Südpol der Erde.

In welcher geographischen Länge man auch die Aequatorialzone passiren mag, so wird man doch immer einen Punkt finden, wo die Inclinationsnadel wagerecht steht. Diese **Orte ohne Inclination** bilden um die ganze Erde eine Kurve, welche man den **magnetischen Aequator** nennt.

Der magnetische Aequator fällt nicht mit dem Erdäquator zusammen und bildet auch keinen regelmäßigen größten Kreis der Erdkugel. Die größte südliche Breite erreicht er im atlantischen Ocean, ungefähr an der Küste von Brasilien, wo er sich 14° südlich vom Erdäquator findet. Mehr nach Westen hin nähert sich der magnetische Aequator dem Erdäquator und erreicht ihn 120° westlich von Paris; hier aber tritt er nicht auf die nördliche Halbkugel, sondern wendet sich abermals nach Süden, und erreicht 160° westlich von Paris ein zweites südliches Maximum von 3° 75′. Im 174sten Längengrade schneidet er den Erdäquator und bleibt von da auf der nördlichen Halbkugel, um 18° östlich von Paris den Erdäquator abermals zu schneiden. Der magnetische Aequator hat 62° östlich von Paris eine nördliche Breite von 11° 47′; 150° östlich von Paris ist seine nördliche Breite 7° 44′; 130° östlich von Paris ist sie 8° 57′. Diese Angaben reichen hin, um im Allgemeinen die Lage des magnetischen Aequators zu bestimmen und die Unregelmäßigkeit seines Laufes zu zeigen, für die man bis jetzt noch keinen genügenden Grund anzugeben weiß.

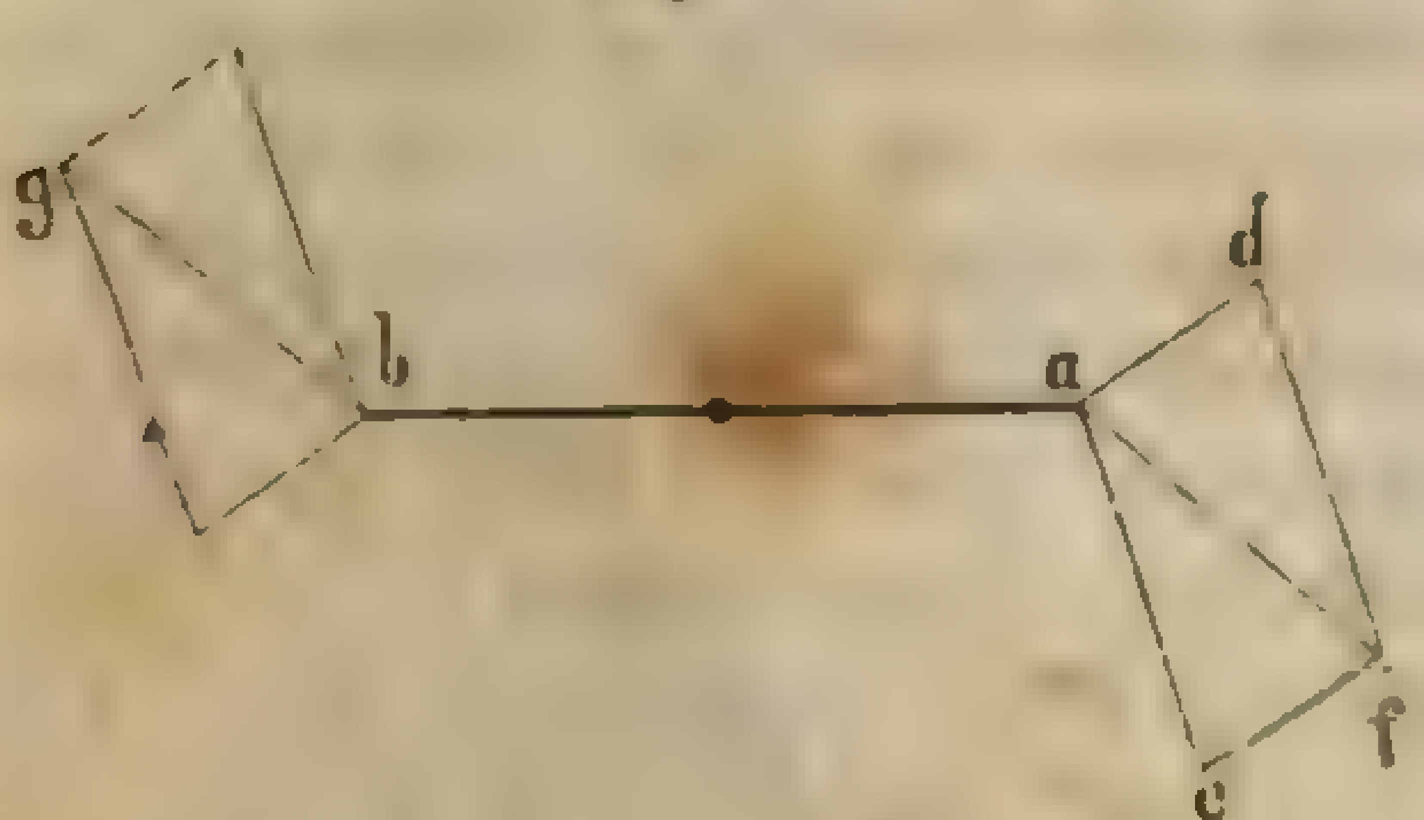
8 **Die Wirkung der Erde auf einen Magnet kann als ein System von parallelen und entgegengesetzten Kräften betrachtet werden.** Die Totalwirkung, welche die Erde auf eine Magnetnadel ausübt, ist nur eine richtende, aber keine anziehende, denn wenn letzteres der Fall wäre, so müßte eine Magnetnadel mehr wiegen, als vorher, da sie noch nicht magnetisch gemacht worden war. Wenn man eine Magnetnadel auf einen Kork legt, welcher auf Wasser schwimmt, so stellt sie sich in den magnetischen Meridian, sie zeigt aber kein Bestreben, nach Norden zu schwimmen, wie man vielleicht hätte erwarten können.

Nähert man der schwimmenden Nadel einen Magnetstab, so findet entweder eine Anziehung oder eine Abstoßung Statt, je nachdem man sich mit dem einen oder dem andern Pol des Magneten nähert; die Nadel schwimmt dem Magneten zu oder von ihm weg. Warum schwimmt nun die Nadel nicht dem magnetischen Nordpol zu, wenn sich doch die Erde nicht anders als wie ein großer Magnet verhält? Der Grund ist folgender: Die Kraft der magnetischen Anziehung nimmt mit der Entfernung ab, wie wir bald sehen werden. Wenn man nun einen Magnetstab der schwimmenden Nadel nähert, so sind die beiden Pole der Nadel nicht gleich weit vom genäherten Pole des Magneten entfernt, folglich muß entweder die abstoßende oder die anziehende Kraft überwiegen und

mithin auch eine Fortbewegung erfolgen. Der magnetische Nordpol der Erde ist aber nun von der schwimmenden Nadel so außerordentlich weit entfernt, daß die Länge der Nadel gegen diese Entfernung eine völlig verschwindende Größe ist, der eine Pol der Nadel wird also eben so stark angezogen, als der andere abgestoßen wird.

Nehmen wir das Wort Pol in der zweiten der oben angegebenen Bedeutungen, nämlich als Mittelpunkt der magnetischen Kraft, so sind wir nicht im Stande, die Lage der magnetischen Pole der Erde zu bestimmen, wir können nur ermitteln, wo ungefähr die magnetische Erdaxe die Oberfläche der Erde trifft, also die beiden Endpunkte des großen Erdmagneten. Welches aber auch die Lage der magnetischen Pole der Erde (der Mittelpunkte der magnetischen Kräfte) seyn mag, so üben doch beide einen Einfluß auf die beiden Pole des Magneten aus. Es sey Fig. 19 eine Magnetnadel, *a* der eine, *b* der andere Pol derselben. Der Nordpol der Erde wirkt anziehend auf den Pol *a* in einer Richtung, die wir nicht ermitteln können, die wir aber durch die Linie *a c* darstellen wollen. Auf denselben Pol *a* der Nadel wirkt aber der Südpol der Erde abstoßend in der Richtung *a d* (die auch nicht ermittelt werden kann).

Fig. 19.



Weil wir nun in unseren Gegenden dem magnetischen Nordpol der Erde näher sind als dem Südpol, so ist die Anziehung stärker als die Abstoßung; die beiden Kräfte verbinden sich nach dem Gesetze des Parallelogramms der Kräfte zu einer Resultirenden *a f*. Auf den Pol *b* der Nadel wirkt nun der Nordpol der Erde abstoßend, und zwar in derselben Richtung und mit derselben Stärke, wie er den Pol *a* anzieht; der Südpol der Erde zieht aber den Pol *b* in derselben Richtung und mit derselben Stärke an, wie er den andern abstößt. Die beiden Kräfte, welche den Pol *b* angreifen, sind also den beiden in *a* angreifenden Kräften parallel, gleich und entgegengesetzt, mithin müssen auch die Resultirenden *b g* und *a f* parallel, gleich und entgegengesetzt seyn. Wenn aber die um ihren Schwerpunkt frei drehbare Nadel in ihren Polen von zwei gleichen, parallelen und entgegengesetzten Kräften angegriffen wird, so werden sie nur eine Drehung der Nadel um ihren Schwerpunkt bewirken können, die Nadel befindet sich aber in ihrer Gleichgewichtslage, wenn die magnetische Axe der Nadel, d. h. die Verbindungslinie der Pole *a* und *b* in der Richtung der Resultirenden *a f* und *b g* fällt, wenn also auch *a f* in der Verlängerung von *b g* liegt.

Diese Gleichgewichtslage beobachteten wir nun an der Inclinationsnadel; die Richtung der Inclinationsnadel fällt mit der Resultirenden der auf die Nadel wirkenden magnetischen Kräfte der Erde zusammen.

Bei der Declinationsnadel ist ein Theil der Wirkung der magnetischen Erdkräfte durch die Art, wie die Nadel aufgehängt ist, aufgehoben, bei der Decli-

nationsnadel kommt nur die horizontale Composante der die Nadel richtenden magnetischen Erdkraft zur Wirkung, und diese horizontale Composante wird natürlicher Weise um so geringer seyn, je mehr die Inclination der Nadel wächst. Je weiter man sich also vom magnetischen Aequator entfernt, um so geringer ist die Kraft, welche die Declinationsnadel richtet.

9 **Messung der Declination und Inclination.** Wie man mit Hülfe einer Bussole die Declination bestimmen kann, ist bereits auf Seite 12 gesagt worden. Eine solche Bestimmungsmethode kann jedoch nur ein annähernd genaues Resultat geben. Mit astronomischer Genauigkeit aber läßt sich die Richtung des magnetischen Meridians mit Hülfe des Gauß'schen Magnetometers bestimmen. Gauß wendet statt der kleinen Nadeln Magnetstäbe von bedeutenden Dimensionen an, welche 5 bis 25 Pfd. wiegen. Ein solcher Stab ist in eine Hülse von Messing eingeschoben, die an einem Metalldraht von entsprechender Dicke (oder auch einem vielfachen ungedrehten Seidenfaden) befestigt ist, welcher ungefähr von der Mitte des Beobachtungssaales herabhängt. Der Stab trägt an seinem nördlichen oder südlichen Ende einen Planspiegel, dessen Ebene mit der magnetischen Axe des Stabes einen rechten Winkel macht, oder, mit andern Worten, dessen Normale mit der Axe des Magneten zusammenfällt. Es sind natürlich die nöthigen Vorkehrungen getroffen, um die Stellung dieses Spiegels gehörig zu berichtigen.

Dem Spiegel gegenüber ist ein Theodolith aufgestellt, ungefähr wie es Fig. 20 und Fig. 21 angedeutet ist. Die optische Axe des Fernrohrs ist etwas höher als der Stab und so abwärts geneigt, daß sie gegen die Mitte des Spiegels gerichtet ist.

Am Stativ des Theodolithen ist eine 1 Meter lange, in Millimeter getheilte

Fig. 20.

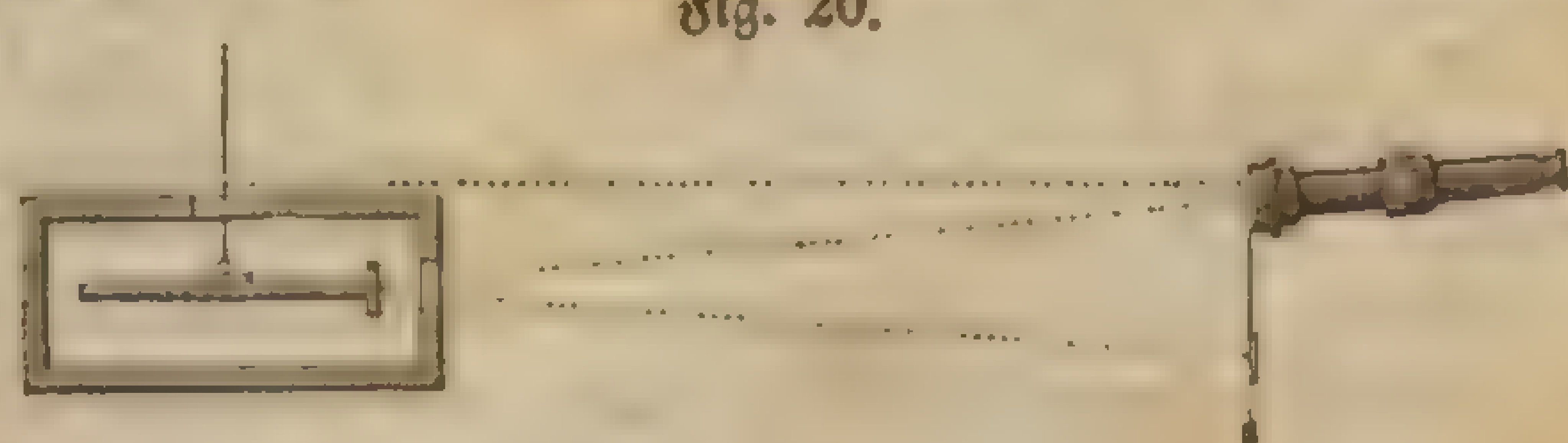
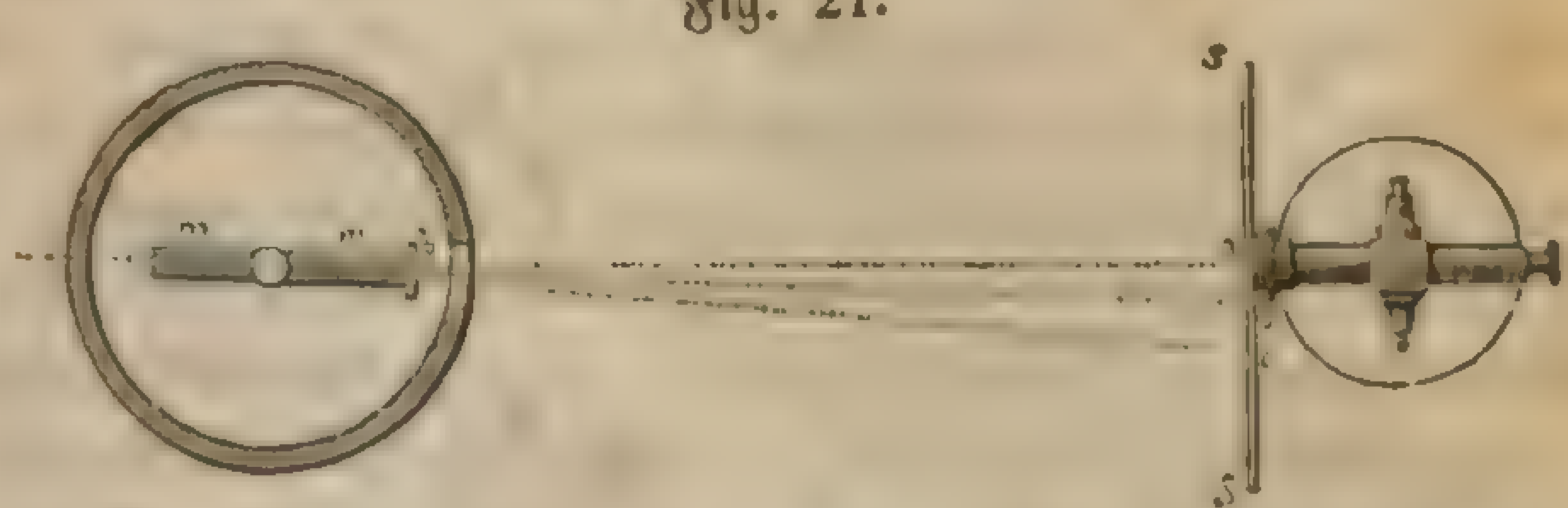


Fig. 21.

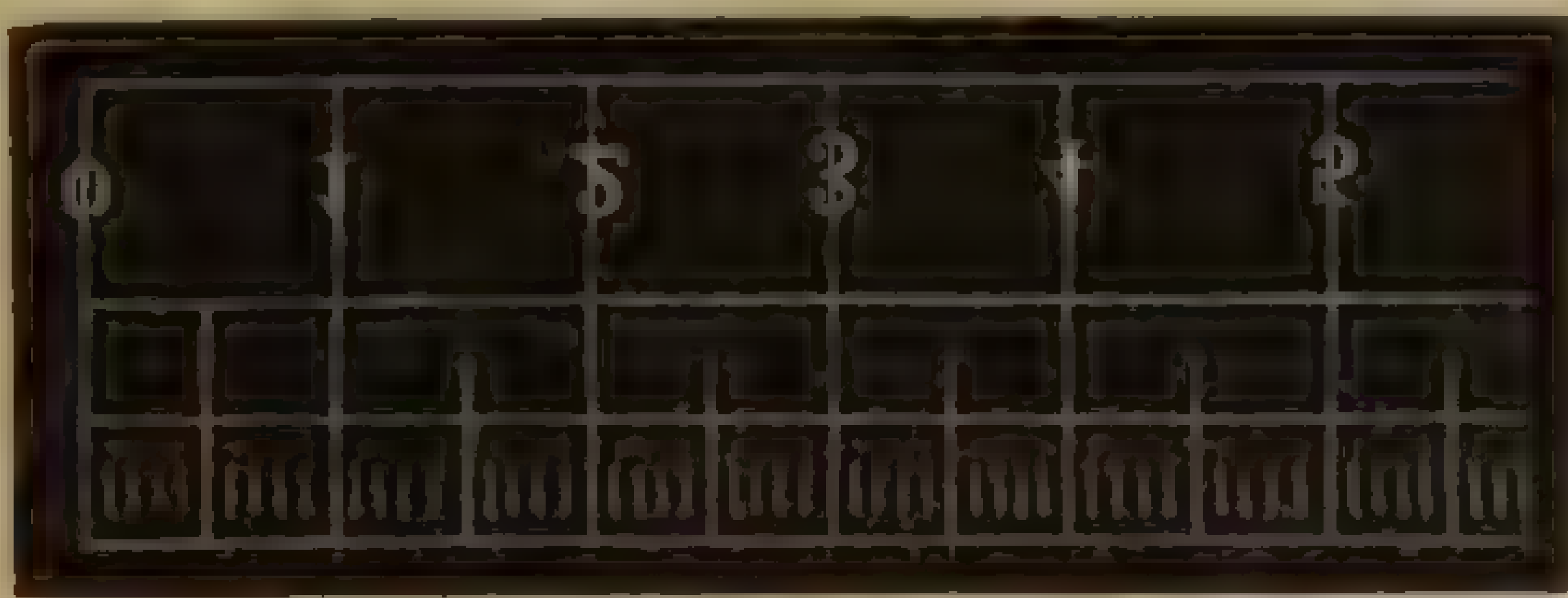


horizontale Scala befestigt, die auf der Richtung des magnetischen Meridians rechtwinklig steht. Derjenige Punkt der Scala *s s*, welcher mit der optischen Axe des Fernrohrs in einer Vertikalebene liegt und hier der Kürze wegen der Mittelpunkt heißen mag, wird durch einen vor der Mitte des Objectivs herabhängenden, mittelst eines Messingringes an der Fassung desselben befestigten, unten durch ein kleines Gewicht beschwerten feinen Draht von dunkler Farbe bezeichnet.

Die Scala ist in einer solchen Höhe befestigt, daß das Bild eines Theils derselben im Spiegel durch das Fernrohr gesehen wird.

Fig. 22 stellt einen Theil dieser Scala in natürlicher Größe dar. Die Zahlen sind in der Weise verkehrt geschrieben, daß ihr Spiegelbild, durch das astronomische Fernrohr gesehen, richtig erscheint.

Fig. 22.



Der Magnetstab hängt in einem runden oder achteckigen Kasten mit einer Oeffnung vor dem Spiegel.

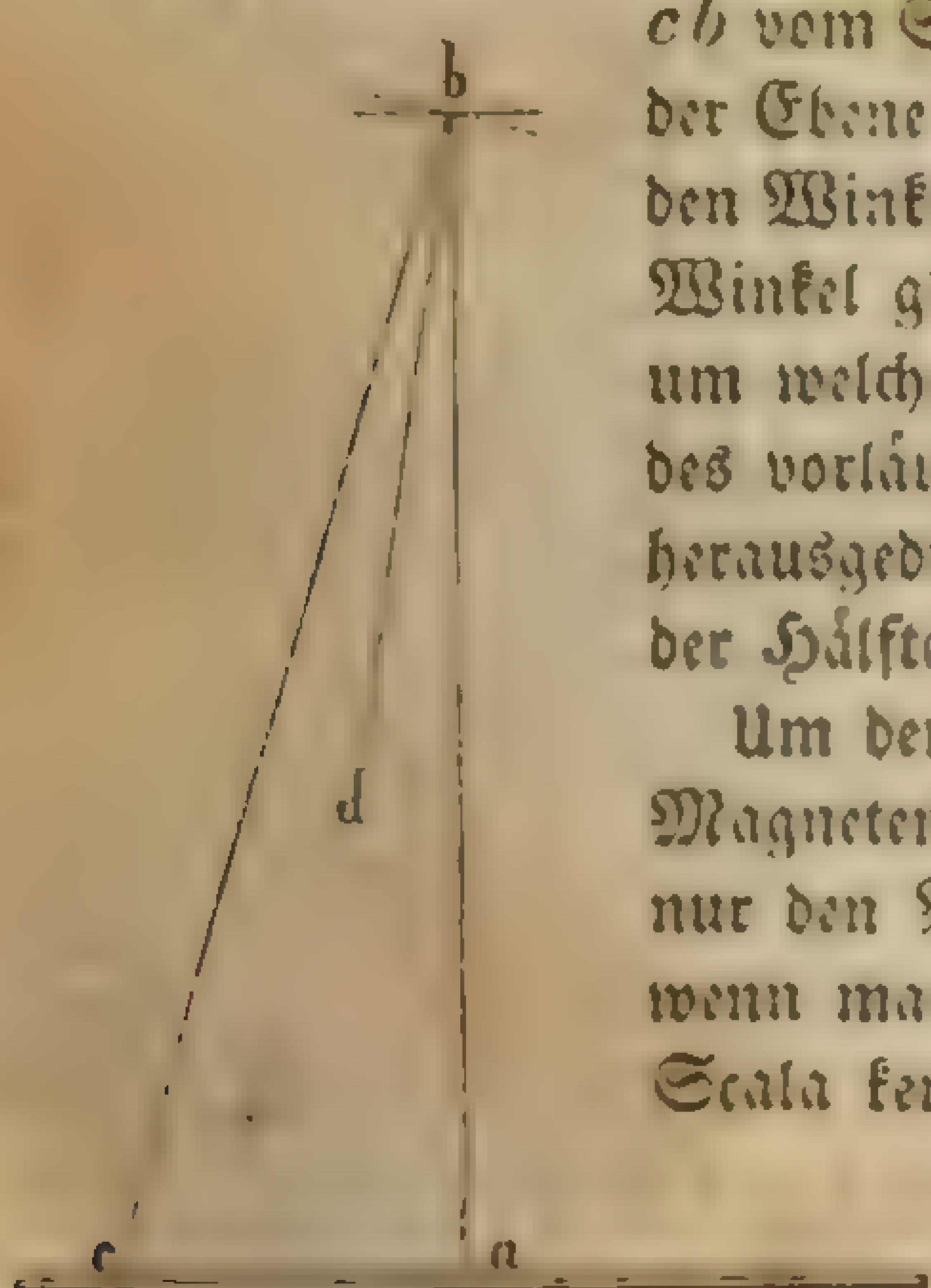
Das Fernrohr hat eine vertikale Axenbewegung, so daß man es auf eine hinter dem Magnetkasten in der Vertikalebne von $a\ b$ an der Wand angebrachte feste Mire richten und sich von dem unveränderten Stande des Fernrohrs überzeugen kann.

Die ganze Aufstellung ist nun so gemacht, daß die Vertikalebene der optischen Axe des Fernrohrs, in welcher auch die vertikale Drehungsaxe des Magnetstabes liegen muß, mit dem vorläufig annähernd genau bestimmten magnetischen Meridian zusammenfällt.

Wenn die Axe des Magneten wirklich genau mit diesem vorläufig bestimmten magnetischen Meridian zusammenfällt, so erscheint das Bild des vor der Mitte der Scala hängenden Fadens in der Axe des Fernrohrs, so bald aber der Magnetstab aus dieser Ebene abweicht, erscheinen andere Theilstriche am vertikalen Faden des Fadenkreuzes im Fernrohr, so daß man die geringste Abweichung mit Sicherheit erkennen und auch messen kann.

Erscheint statt des erwähnten Mittelpunktes a der Scala der Punkt c, Fig. 23, am Fadenkreuz, so wird der von c ausgehende Strahl $c\ b$ vom Spiegel in der Richtung $b\ a$ reflectirt. Ein auf der Ebene des Spiegels errichtetes Perpendikel $b\ d$ muß den Winkel $c\ b\ a$ halbiren; $d\ b\ a$ aber ist offenbar dem Winkel gleich, um welchen der Spiegel, oder auch, um welchen die Axe des Magnetstabes aus der Ebene des vorläufig bestimmten magnetischen Meridians $a\ b$ herausgedreht worden ist, dieser Winkel ist also gleich der Hälfte des Winkels $c\ a\ b$.

Fig. 23.



Um den Winkel zu ermitteln, welchen die Axe des Magneten mit der Ebene $a\ b$ macht, hat man also nur den Winkel $c\ a\ b$ zu bestimmen, was leicht ist, wenn man die Entfernung $a\ b$ des Spiegels von der Scala kennt, da ja die Entfernung $c\ a$ unmittelbar auf der Scala abgelesen wird.

Gesetzt $c\ a$ sey 1 Centimeter, $a\ b$ aber

sey 5 Meter (dies ist in der That beim Gauß'schen Magnetometer die Entfernung des Spiegels von der Scala), so ist $ca = \frac{1}{500} = 0{,}002$ von ab, wir haben also zur Bestimmung des Winkels cab die Proportion

$$3{,}14 : 180^0 = 0{,}002 : \text{Winkel } cba.$$

Es ergiebt sich also Winkel $cba = 0{,}114^0 = 6{,}84'$.

Ist der am Fadenkreuz des Fernrohrs erscheinende Punkt c nur 1 Millimeter von a entfernt, so ist Winkel $cba = 0{,}684' = 41''$; die entsprechende Drehung des Magnetstabes aus der Ebene ab betrüge also für diesen Fall $\frac{41}{2} = 20{,}5''$, jeder Theilstrich der Scala entspricht also einer Drehung des Magnetstabes von 20,5 Sekunden oder, mit anderen Worten, wenn der im Fadenkreuz des Fernrohrs erscheinende Theilstrich c der Scala n Millimeter weit von a absteht, so macht die Axe des Magnetstabes einen Winkel von $n . 20{,}5''$ mit der Ebene ab. Ein geübtes Auge kann nun sehr gut noch Zehntel eines Millimeters schätzen; es ist also möglich, mittelst dieser Vorrichtung die Abweichung der Axe des Magnetstabes, also des wirklichen magnetischen Meridians von der Ebene ab bis auf 2 Sekunden genau zu bestimmen.

Was die Beobachtung des Magnetometers betrifft, so ist jedoch noch folgende wichtige Bemerkung zu machen. Der Magnetstab hat nie eine ganz feste Stellung, sondern er macht fortwährend Schwingungen, und als seine Gleichgewichtslage kann man das Mittel zwischen den Gränzen nehmen, zwischen denen er oscillirt. Die Schwingungen sind aber langsam genug, um die Oscillationsgränzen mit Genauigkeit zu beobachten.

Ist auf diese Weise der Winkel ermittelt, welchen zu einer bestimmten Zeit der wahre magnetische Meridian (d. h. die Gleichgewichtslage, um welche der Stab oscillirt) mit der Ebene ab macht, so ist es nun leicht, den genauen Werth der Declination zu finden; man braucht nur den eben erwähnten Winkel zu demjenigen zu addiren oder zu subtrahiren, welchen ab mit dem astronomischen Meridian macht. Diesen letzteren Winkel aber kann man mit der vollen Genauigkeit messen, welche das Theodolith erlaubt, vorausgesetzt daß man von dessen Stelle aus durch ein Fenster einen entfernten im Meridian befindlichen Gegenstand, oder ein anderes Object sehen kann, dessen Azimuth genau bestimmt ist.

Der magnetische Meridian ist nun aber keineswegs eine unveränderlich feste Ebene wie der astronomische Meridian, sondern er ist in beständigen Schwankungen begriffen, welche an gewöhnlichen Bussolen freilich nicht wahrnehmbar sind, zu deren Beobachtungen aber das eben beschriebene Magnetometer sich ganz vorzüglich eignet. Will man nun diese Variationen beobachten, nicht aber den absoluten Werth der Declination bestimmen, so ist es nicht mehr nöthig, daß der Spiegel rechtwinklig zur Axe des Magnetstabes befestigt ist; er kann alsdann, einen beliebigen Winkel mit derselben machend, an der vertikalen Drehungsaxe angebracht seyn, wie man z. B. Fig. 24 sieht. Die Spiegelebene kann dann jeden beliebigen Winkel mit dem magnetischen Meridian machen und das Beobachtungsfernrohr braucht alsdann auch nicht mehr in der

Verlängerung des Stabes zu liegen, sondern kann seitlich aufgestellt werden, wie es eben bei den disponibeln Lokalitäten bequem ist.

Fig. 24

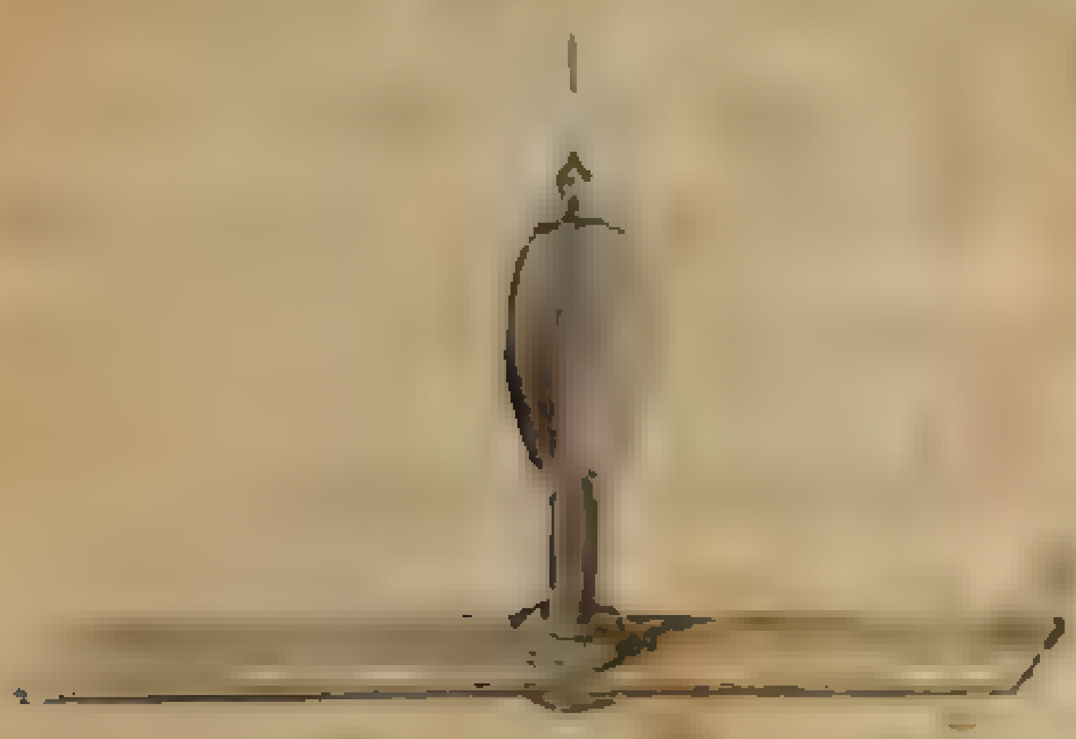
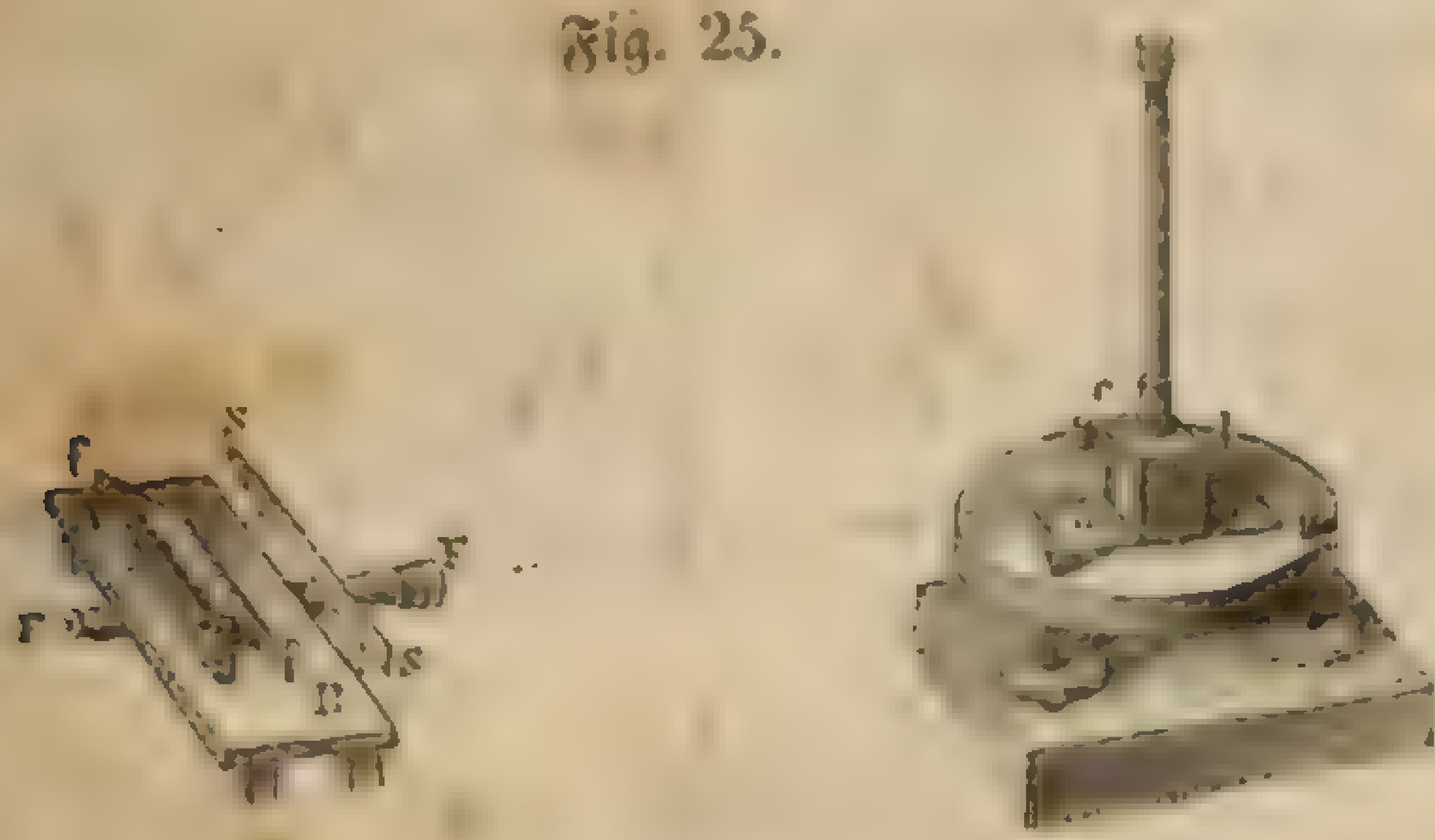


Fig. 24 stellt ein Magnetometer in $^1/_2$ der natürlichen Größe dar, wie es **Lamont** zur Beobachtung der Variationen der Declination anwendet. Die Nadel ist aus einer starken Uhrfeder gemacht. Zum Aufhängen wird ein einfacher Coconfaden angewendet, welcher eine im Verhältniß zu seiner Tragkraft sehr geringe Torsionskraft hat. Fig. 25 zeigt das Gehäuse, in welchem dieser Magnet aufgehängt ist. In

Fig. 25.



einer mit drei Fußschrauben versehenen Messingscheibe wird ein Schlitz, ungefähr $^1/_2$ Zoll breit, durchgebrochen und oben und unten mit Glas verschlossen. In diesem Schlitze befindet sich der Magnet, dessen Spiegel in dem Gehäuse *cd* ist. In einiger Entfernung wird auf einer feststehenden Säule die Messingplatte *AB* befestigt. Unter der Platte ist das Ablesungsfernrohr *FF*, über derselben die Scala *SS* (von Glas) und hinter diesen der Beleuchtungsspiegel *ff* angebracht.

Wenn man die **Inclination** der Magnetnadel messen will, so muß die horizontale Axe der Inclinationsnadel durch den Mittelpunkt eines getheilten Kreises gehen, dessen Durchmesser der Länge der Nadel gleich ist, wie Fig. 18. Man kann an diesem getheilten Kreise den Winkel ablesen, welchen die Nadel mit der Horizontalen macht. Wenn diese Ablesung den wahren Werth der Inclination geben soll, so muß natürlich die Nadel mit dem getheilten Kreise sich genau im magnetischen Meridian befinden. Die Construction eines solchen Instrumentes ist außerordentlich delicat, weil es sehr schwer hält, eine Magnetnadel genau in ihrem Schwerpunkt zu unterstützen und um eine horizontale Axe sehr beweglich zu machen. Deshalb kann auch die Inclination mittelst solcher Inclinatorien ungleich weniger genau bestimmt werden, als die Declination.

Die Entdeckung der Inclination wird gewöhnlich einem Engländer **Robert Normann** zugeschrieben, der wenigstens im Jahre 1576 ein Inclinatorium construirt hat. Schon 33 Jahre früher aber kannte **Georg Hartmann**,

Vicar zu St. Sebald in Nürnberg, die Inclination der Magnetnadel. Ihm ist auch die Entdeckung des Gesetzes zuzuschreiben, daß gleichnamige Polaritäten sich abstoßen, ungleichnamige sich anziehen.

10 **Variationen der Declination und Inclination.** Die Declination ist eben so wenig wie die Inclination unveränderlich, wie man leicht aus den folgenden Tabellen ersieht, welche die Größe der Declination und Inclination angeben, wie sie zu verschiedenen Zeiten in Paris beobachtet wurde.

Declination für Paris.

Jahr.	Declination.	Jahr.	Declination.
1580	11° 30′ östl.	1814	22° 34′ westl.
1618	8 »	1816	22 25 »
1663	0 »	1825	22 22 »
1700	8 10 westl.	1828	22 5 »
1780	19 55 »	1832	22 3 »
1805	22 5 »	1835	22 4 »

Man sieht aus dieser Tabelle

1) daß von 1580 an die Declination sich um mehr als 30° geändert hat;
2) daß sie im Jahre 1663 Null war;
3) daß sie bis 1814 immer nach Westen vorschritt;
4) daß sie von 1814 an eine rückgängige Bewegung nach Osten hin erlitten hat.

In Göttingen betrug die Declination im Jahre 1835 im Mittel 18°39,33′ — im Jahre 1841 betrug sie 18° 9,62′.

Die Inclination ändert sich eben so wie die Declination im Laufe der Zeit, wie man aus folgender Tabelle sieht.

Inclination für Paris.

Jahr.	Inclination.	Jahr.	Inclination.
1671	75°	1820	68° 20′
1780	71 48′	1825	68 0
1806	69 12	1831	67 40
1814	68 36	1835	67 24

Wenn auch die früheren Bestimmungen nicht sehr genau sind, so ist doch eine fortwährende Abnahme der Inclination bewiesen.

Die angeführten Veränderungen der Declination und Inclination nennt man seculare Variationen.

Wenn man eine Declinationsnadel aufmerksam beobachtet, so findet man,

daß sie fortwährenden Schwankungen unterworfen ist, indem sie sich bald östlich, bald westlich von ihrer mittlern Lage entfernt. Die Schwankungen sind bald zufällig und plötzlich, bald regelmäßig und periodisch. — Die ersteren nennt man Störungen, die letzteren tägliche Variationen. Im Allgemeinen beobachtet man in unseren Gegenden folgenden Gang der täglichen Variationen. Während der Nacht ist die Nadel fast stationär, mit Sonnenaufgang aber fängt das Nordende der Nadel an, sich nach Westen zu bewegen. Gegen 5 Uhr Nachmittags erreicht die westliche Ablenkung ihr Maximum, die Nadel geht dann bis 9, 10 oder 11 Uhr Abends nach Osten zurück.

Die Amplitude der täglichen Variationen, d. h. der Winkel zwischen dem östlichsten und westlichsten Stande der Nadel, ist veränderlich; sie ist in den Sommermonaten am größten. Ihr Mittelwerth beträgt vom April bis zum September 13 bis 15 Minuten, vom October bis zum März nur 8 bis 10 Minuten. An manchen Tagen beträgt die Amplitude 25′, an anderen dagegen nur 5′ bis 6′.

Die Mittelwerthe für die Amplitude in verschiedenen Monaten sind nach Beobachtungen in Göttingen folgende:

Januar . .	6,7′	Juli . .	12,1′
Februar . .	7,4	August . .	13,0
März . . .	11,9	September .	11,8
April . . .	13,9	October . .	10,3
Mai . . .	13,5	November .	6,9
Juni . . .	12,5	December . .	5,0.

In nördlichen Gegenden sind im Allgemeinen die täglichen Variationen bedeutender und weniger regelmäßig. Auch während der Nacht ist die Nadel weniger stationär; je mehr man sich dagegen dem magnetischen Aequator nähert, desto mehr nimmt die Größe der täglichen Variationen ab, und auf dem magnetischen Meridian selbst ist sie ganz unmerklich.

Südlich vom magnetischen Aequator finden die täglichen Variationen in entgegengesetzter Richtung Statt, d. h. hier bewegt sich das Südende der Nadel nach Westen, während nördlich vom magnetischen Aequator das Nordende sich nach dieser Richtung bewegt; und wenn auf der nördlichen Hemisphäre das Nordende der Nadel sich nach Osten bewegt, so hat auf der südlichen Halbkugel das Südende der Nadel eine östliche Bewegung.

Die Beobachtung der täglichen Variationen erfordert sehr genaue Instrumente. Alle früher angewandten werden in dieser Hinsicht von dem schon oben angeführten Apparaten übertroffen, welche die geringsten Veränderungen in der Lage der Magnetnadel angeben. Mit dem Gauß'schen Magnetometer werden bereits an vielen Orten, sowohl in Europa, als auch in anderen Welttheilen an vorausbestimmten Terminen gleichzeitig Beobachtungen angestellt; von diesen Beobachtungen dürfen wir bedeutende Fortschritte unserer Kenntnisse der wunderbaren Störungen des Erdmagnetismus erwarten, namentlich, da sie jetzt auch auf weiter von einander entlegenere Orte ausgedehnt worden sind.

Auch die Inclination ist solchen täglichen Variationen unterworfen, wie dies

zuerst Graham im Jahre 1772 beobachtet hat, jedoch ist die Amplitude dieser Variationen geringer als bei der Declination, und sie lassen sich überhaupt bei weitem nicht mit der Genauigkeit beobachten, wie die Variationen der Declination.

11 **Störungen der Magnetnadel.** Es giebt verschiedene Einflüsse, welche plötzlich die Richtung der Magnetnadel ändern und die Regelmäßigkeit der täglichen Variationen stören. Unter allen diesen Einflüssen wirkt das Nordlicht am stärksten. Wenn dieses Meteor am Himmel erscheint, ist die Magnetnadel in beständiger Bewegung und erleidet eine bedeutende Ablenkung. Die Nadel ist aber nicht allein an den Orten bewegt, wo gerade das Nordlicht sichtbar ist, sondern auch noch an weit entfernten Orten, wo man keine Spur des Nordlichts am Himmel sieht. Im Allgemeinen jedoch sind die Schwankungen um so stärker, je näher man dem Phänomen ist und je intensiver es erscheint. Wenn man dann in den Observatorien die Declinationsnadel beobachtet, sieht man sie auf einmal unruhig werden und Schwankungen machen, deren Amplitude mehr als einen Grad beträgt, ohne daß man eine Ursache finden kann: man erfährt dann gewöhnlich bald, daß an anderen Orten die Bussolen ähnlichen Bewegungen unterworfen waren, und daß man in nördlichen Gegenden ein brillantes Nordlicht beobachtete. So ist ein Beobachter in seinem Cabinet durch seine Bussole von dem unterrichtet, was in den Polargegenden vorgeht. —

Erdbeben und vulkanische Eruptionen scheinen auch auf die Nadel einzuwirken, und manchmal haben sie eine permanente Veränderung ihrer Lage zur Folge. So sah D. Bernouilli im Jahre 1767, daß während eines Erdbebens die Inclination um $\frac{1}{2}$ Grad abnahm, und bei einem Ausbruch des Vesuvs bemerkte Pater de la Torre, daß sich die Declination um mehrere Grade änderte.

12 **Intensität des Erdmagnetismus.** Einer der wichtigsten Punkte für die Theorie des Erdmagnetismus ist die Bestimmung der Intensität des Erdmagnetismus an verschiedenen Orten der Erde und zu verschiedenen Zeiten. Erst in den neuesten Zeiten sind darüber genaue Untersuchungen angestellt worden. Graham scheint sich zuerst im Jahre 1722 mit dieser Frage beschäftigt zu haben. Borda gab zuerst eine genaue Methode an, um die Intensitäten des Erdmagnetismus verschiedener Orte mit einander zu vergleichen, und Humboldt wandte diese Methode auf seiner Reise nach Amerika, sowie auf einer andern Reise durch Frankreich, Italien und Deutschland an. Gauß endlich gab eine Methode an, die Intensität der magnetischen Erdkraft auf ein absolutes Maaß zurückzuführen. Seine Arbeiten über diesen Gegenstand gehören unstreitig zu den geistreichsten und ausgezeichnetsten Productionen, deren sich die Wissenschaft je zu erfreuen hatte.

Borda's Methode besteht darin, die Oscillationsdauer einer und derselben Nadel an verschiedenen Orten zu beobachten, und aus der Veränderung der Schwingungsdauer auf die Aenderung der Intensität des Erdmagnetismus zu schließen. Eine Magnetnadel, eine Declinationsnadel sowohl wie eine Incli-

nationsnadel, aus ihrer Gleichgewichtslage etwas entfernt und dann sich selbst überlassen, oscillirt wie ein Pendel, und in der That sind auch diese Oscillationen ganz den Gesetzen unterworfen, welche wir oben für das gewöhnliche Pendel kennen gelernt haben; nur ist hier der Magnetismus, dort die Schwere die Ursache der Schwingungen. Wir haben dort gesehen, daß sich die Schwingungszeiten umgekehrt wie die Quadratwurzeln aus den beschleunigenden Kräften verhalten, daß also die beschleunigenden Kräfte den Quadraten der Schwingungszahlen direct proportional sind. Wenn also eine und dieselbe Nadel etwa an einem Orte doppelt so schnell oscillirt als am andern, so wäre also hier die magnetische Kraft 4mal so groß als dort.

Es sey M die magnetische Kraft, welche an einem Orte die Schwingungen der Nadel erzeugt, und N die Anzahl der Oscillationen, welche sie in einer gegebenen Zeit, etwa in 5 Minuten, macht; ferner sey m die beschleunigende Kraft, welche an einem zweiten Orte auf dieselbe Nadel wirkt, und n die Zahl der Oscillationen, welche sie in derselben Zeit, also auch in 5 Minuten, macht, so hat man

$$\frac{M}{m} = \frac{N^2}{n^2}.$$

Hätte man z. B. am ersten Orte $N = 25$, am zweiten $n = 24$ gefunden, so hätte man

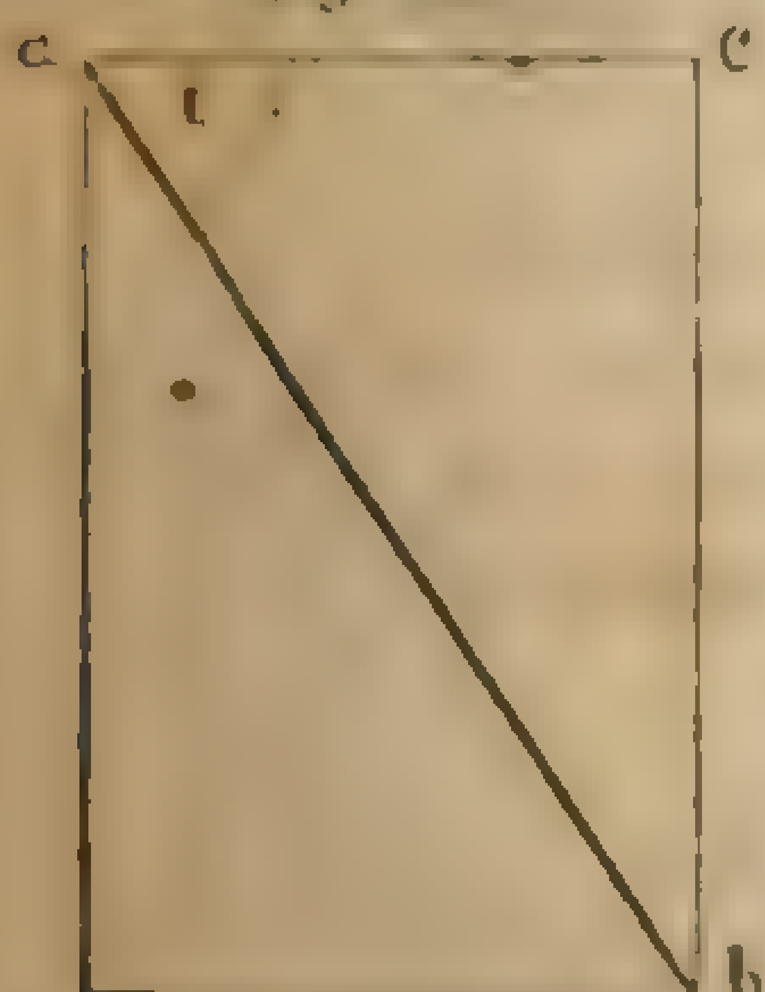
$$\frac{M}{m} = \frac{625}{576} = 1{,}085,$$

das heißt, wenn man die magnetische Kraft, welche am zweiten Orte auf die Nadel wirkt, zur Einheit nimmt, so ist diese Kraft am ersten Orte 1,085.

Wenn man nun annehmen kann, daß sich der magnetische Zustand der Nadel von einem Versuch zum andern nicht geändert habe, so findet man auf diese Weise das Verhältniß der erdmagnetischen Kraft für zwei verschiedene Orte der Erde.

Um die Intensität der ganzen magnetischen Erdkraft für verschiedene Orte mit einander zu vergleichen, muß man zu diesen Oscillationsversuchen natürlich Inclinationsnadeln anwenden. Weil aber Versuche mit diesen immer weniger genaue Resultate geben, so zieht man vor, Oscillationsversuche mit der Declinationsnadel zu machen.

Fig. 26.



Die Kraft, welche die Declinationsnadel oscilliren macht, ist nur ein Theil der ganzen magnetischen Erdkraft, und zwar ist dieser Antheil um so kleiner, je größer die Inclination ist.

Wenn mit M die in der Richtung der Inclinationsnadel wirkende ganze magnetische Erdkraft $a\,b$, und mit i die Inclination bezeichnet wird, so ist $M . \cos i$ die horizontale Composante ac derselben, also die Kraft, welche die Declinationsnadel oscilliren macht. Bezeichnet aber m die horizontale Composante der magnetischen Erdkraft, so ist die totale $\frac{m}{\cos i}$.

Wenn man die Resultate der Intensitätsbestimmungen zusammenstellt, welche an verschiedenen Orten der Erdoberfläche gemacht worden sind, so ergiebt sich das allgemeine Resultat, daß die totale Intensität in der Nähe des magnetischen Aequators am kleinsten ist und daß sie um so mehr wächst, je mehr man sich von demselben nach Norden oder Süden entfernt. In der Nähe der magnetischen Pole ist sie ungefähr 1,5mal so groß als am Aequator. An einem und demselben Orte ist aber die Intensität auch veränderlich und wie die Declination und Inclination täglichen Variationen unterworfen.

Die Schwingungsmethode giebt nur die Verhältnißzahlen der erdmagnetischen Kraft, ohne sie auf ein absolutes Maaß zurückzuführen. Außerdem hat diese Methode noch den Nachtheil, daß man nicht immer sicher seyn kann, ob der magnetische Zustand der Nadel selbst sich nicht geändert habe, und man also Gefahr läuft, Veränderungen in diesem Zustande den Veränderungen der erdmagnetischen Kraft zuzurechnen. Von allen diesen Mängeln ist die Gauß'sche Methode der Intensitätsbestimmung frei; wir wollen versuchen, die Grundsätze derselben, so weit es auf elementare Weise möglich ist, auseinander zu setzen, müssen dies jedoch für das folgende Kapitel verschieben.

13 **Einfluß des Erdmagnetismus auf das Eisen.** Wenn man eine Stange von weichem Eisen in die Richtung der Inclinationsnadel hält, so wird sie durch den Einfluß des Erdmagnetismus selbst magnetisch, und zwar wird ihr unteres Ende ein Südpol, ihr oberes ein Nordpol, wie man leicht sehen kann, wenn man eine kleine empfindliche Magnetnadel bald dem obern, bald dem untern Ende der Stange nähert. Derselbe Pol der Nadel wird von dem einen Ende des Stabes angezogen, von dem andern abgestoßen; man erkennt auf diese Weise zugleich den polarisch magnetischen Zustand des Stabes. Kehrt man den Stab um, so sind sogleich auch seine Pole umgekehrt, das untere Ende ist wieder ein Südpol, das obere ein Nordpol.

Dieselbe Wirkung, nur etwas schwächer, bringt auch der Erdmagnetismus auf eine vertikal hängende Eisenstange hervor, überhaupt auf jede Eisenstange, welchen Winkel sie auch mit der Richtung der Inclinationsnadel macht, nur ist die Wirkung um so geringer, je mehr sie sich von der Richtung der Inclinationsnadel entfernt.

Nach Lloyd's Versuchen ist die magnetisch inducirende Kraft, mit welcher der Erdmagnetismus auf einen Eisenstab wirkt, oder, mit andern Worten, das magnetische Moment, welches durch den Erdmagnetismus in einem Eisenstab hervorgerufen wird, dem Cosinus des Winkels proportional, welchen der Stab mit der Richtung der Inclinationsnadel macht.

Darauf hat nun Lloyd ein sehr sinnreiches Verfahren zur Bestimmung der Inclination mittelst einer horizontalen Magnetnadel gegründet. Oestlich oder westlich von einer an einem Coconfaden hängenden 3 Zoll langen horizontalen Magnetnadel ist ein runder Eisenstab von 12 Zoll Länge und $^3/_4$ Zoll Durchmesser angebracht. Die Vertikalebene des Stabes ist mit der Ebene des

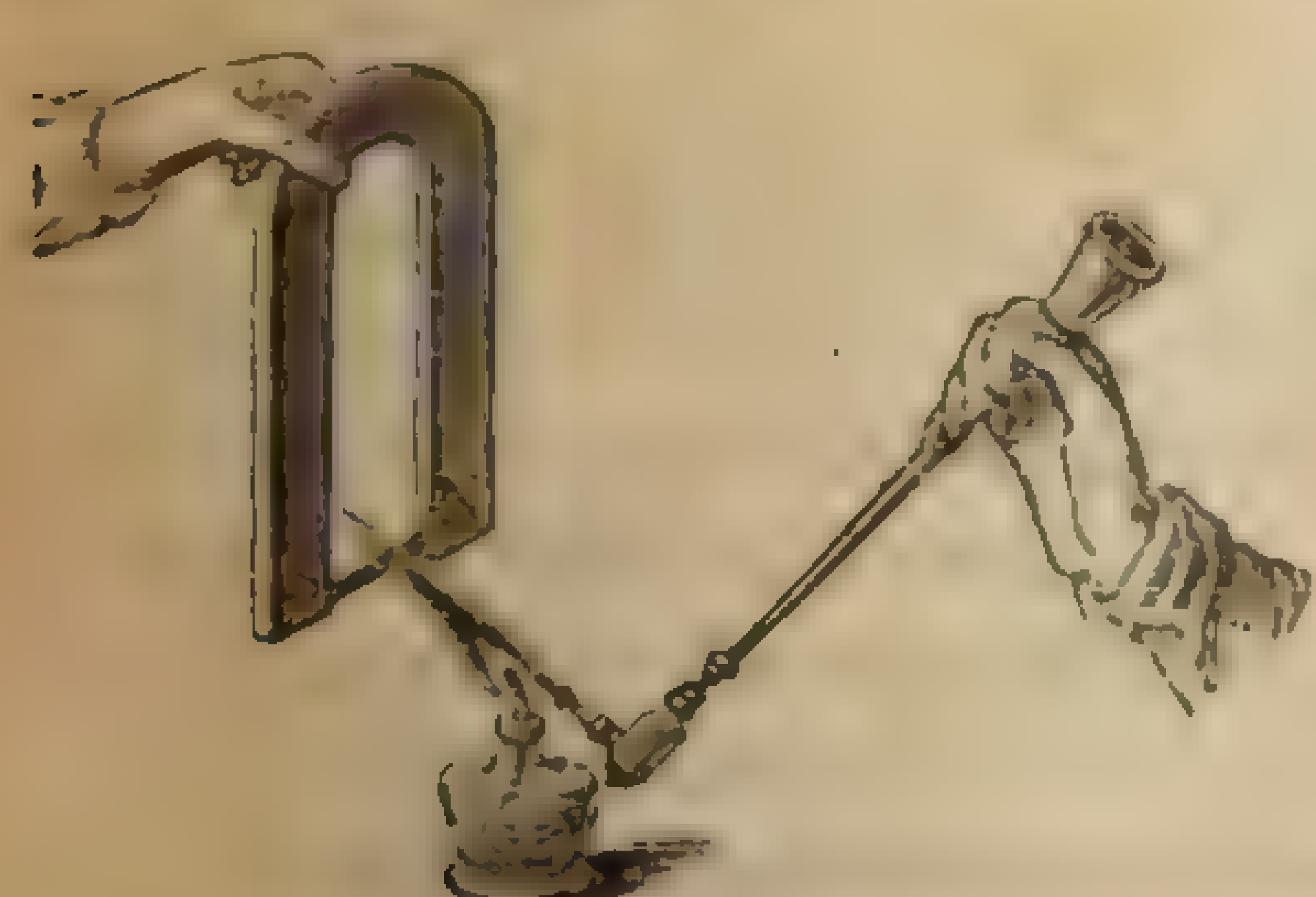
magnetischen Meridians der Nadel parallel, und zwar läßt er sich um eine senkrecht zu seiner Länge und rechtwinklig auf dem magnetischen Meridian stehende Axe drehen, welche die Länge der freien Nadel halbirt. Das eine Ende des Magnetstabes stößt gerade an diese Umdrehungsaxe an, so daß es beständig in der Horizontalebene der Nadel bleibt. Dieser Stab wird nun einmal vertikal gestellt und dann durch eine Drehung um 90° in eine horizontale Lage gebracht. In beiden Lagen lenkt er die Nadel aus ihrer Gleichgewichtslage ab, und wenn man diese Ablenkungen genau beobachtet hat, so kann man daraus die Stärke der magnetischen Induction bei horizontaler und bei vertikaler Stellung des Stabes und aus dem Verhältniß beider die Größe der Inclination ableiten.

In gleicher Weise wie auf einen Eisenstab wirkt der Erdmagnetismus inducirend überhaupt auf jede Eisenmasse.

Wenn eine Stange von Eisen durch den vertheilenden Einfluß des Erdmagnetismus selbst zum Magnet gemacht ist, so reichen einige Schläge mit dem Hammer hin, um den Magnetismus zu fixiren und die Stange zu einem bleibenden Magnets zu machen; durch das Schlagen wird also dem Eisen eine Coërcitivkraft ertheilt, welche hindert, daß die durch den Einfluß der Erde im Eisen getrennten magnetischen Fluida sich wieder vereinigen. Dadurch erklärt sich auch, daß fast alle Werkzeuge in der Werkstatt eines Schlossers Magnete sind.

Es scheint, daß auch chemische Veränderungen ähnlich wirken wie mechanische Erschütterungen, um den durch die Erde vertheilten Magnetismus des Eisens zu fixiren, denn man findet, daß Eisenstangen, welche längere Zeit vertikal standen und in dieser Stellung rosteten, einen bleibenden Magnetismus erhalten haben. Ein gewisser Julius Cäsar, Chirurg zu Rimini, beobachtete zuerst im Jahre 1590 an einer Eisenstange des Thurmes der Kirche des heil. Augustin, daß sie durch den Einfluß der Erde magnetisch geworden war. Später, um das Jahr 1630, machte Gassendi dieselbe Beobachtung an dem Kreuze des Thurmes der St. Johanneskirche zu Aix, welches vom Blitze heruntergeschlagen worden war. Es war stark verrostet und hatte alle Eigenschaften eines Magneten. Seitdem haben sich solche Beobachtungen sehr vermehrte und man hat allgemein gefunden, daß ein etwas gerostetes Eisen stets ein mehr oder weniger starker Magnet ist.

Fig. 27.



Wenn man einen Hufeisenmagnet in Eisenfeile taucht, so hängt sich zwischen den Polen ein Bündel derselben an; wenn man sie nun mit Wasser befeuchtet und dann zum Glühen erhitzt während sie noch immer dem vertheilenden Einflusse des Magneten ausgesetzt sind, so geht eine theilweise Oxydation des Eisens vor sich, man erhält eine ziemlich compacte Masse, deren Zusam-

mensetzung der der natürlichen Magnete ähnlich ist und welche ebenfalls bleibend magnetisch ist.

Drittes Kapitel.

Von den Gesetzen und der Theorie des Magnetismus.

14 **Verschiedene Mittel, die magnetischen Kräfte zu messen.** Das erste Mittel, welches sich darbietet, die Stärke natürlicher und künstlicher Magnete zu vergleichen, besteht darin, sie mit einem Stück Eisen in Verbindung zu bringen, welches man mehr und mehr mit Gewichten belastet, bis es endlich abreißt und auf diese Weise also die Tragkraft des Magneten ermittelt. Dieses Mittel kann nur eine rohe Annäherung geben, wie wir bald sehen werden, es war jedoch das einzige, welches man bis 1780 anwandte.

In dieser Zeit brach Coulomb durch seine schönen Entdeckungen eine neue Bahn in der Wissenschaft. Er gab Methoden an, um die magnetischen Kräfte mit äußerster Genauigkeit zu messen.

Coulomb wandte zwei verschiedene Mittel an, um die Stärke der Magnete zu messen. 1) Die Oscillationen einer an einem Seiden- oder Platinfaden aufgehängten Nadel; 2) die Drehung von Kupfer- oder Silberfäden in der Torsionswage, welche man nach ihm die Coulomb'sche Drehwage nennt.

15 **Methode der Oscillationen.** Eine Magnetnadel, welche unter dem Einflusse des Erdmagnetismus oscillirt, kann als ein zusammengesetztes Pendel betrachtet werden, und die absolute Größe der Kraft, welche sie in Bewegung setzt, läßt sich ausmitteln, wenn man das Trägheitsmoment der Nadel in Beziehung auf ihre Anhängungsaxe und die Zahl der Schwingungen kennt, welche sie in einer gegebenen Zeit macht. Wir werden auf diesen Punkt im nächsten Kapitel zurückkehren, wo von der Bestimmung der Intensität des Erdmagnetismus die Rede seyn wird. Die absolute Kraft aber, unter deren Einfluß die Nadel oscillirt, ist ein zusammengesetztes Element, welches zugleich von der Intensität des Erdmagnetismus und dem magnetischen Zustande der Nadel abhängt.

Auf eine oscillirende Magnetnadel lassen sich alle Gesetze der Pendelbewegungen anwenden, woraus sich ergiebt, daß die magnetischen Kräfte, welche auf eine Magnetnadel einwirken, sich umgekehrt verhalten wie die Quadrate der Schwingungszeiten.

Nehmen wir zwei ganz gleiche, aber ungleich stark magnetisirte Nadeln, so werden diese unter dem Einflusse des Erdmagnetismus nicht gleich schnell oscil-

liren. Bezeichnen wir mit f die Kraft, welche auf die eine Nadel wirkt, mit t die Anzahl der Sekunden, während welcher eine Oscillation vollendet wird, ferner mit f' und t' die entsprechenden Größen für die andere Nadel, so verhalten sich die Kräfte f und f' umgekehrt wie die Quadrate von t und t', es ist also

$$\frac{f}{f'} = \frac{t'^2}{t^2}.$$

Hätte z. B. die eine Nadel 6 Sekunden, die andere aber nur 4″ zu einer Oscillation gebraucht, so könnte man nach diesem Gesetze schließen, daß die magnetische Kraft, welche die letztere beschleunigt, sich zu der erstern verhält, wie 36 zu 16.

Die Schwingungszeit verhält sich offenbar umgekehrt wie die Zahl der Schwingungen, die in einer gegebenen Zeit, etwa in 1 Minute, gemacht werden. Bezeichnet man mit n die Anzahl der Schwingungen, welche die erste der beiden Nadeln in einer Sekunde macht, mit n' die entsprechende Zahl für die zweite Nadel, so hat man

$$\frac{f}{f'} = \frac{n^2}{n'^2}.$$

Wenn außer dem Erdmagnetismus noch ein anderer Magnet auf eine oscillirende Nadel einwirkt, so können dadurch, je nach den Umständen, die Oscillationen schneller oder langsamer werden, als es unter dem alleinigen Einflusse des Erdmagnetismus der Fall gewesen wäre, immer aber läßt sich aus der beobachteten Schwingungsdauer auf das Verhältniß der beschleunigenden Kräfte schließen.

Nehmen wir an, man habe eine an einem ungedrehten Seidenfaden aufgehängte Nadel nur unter dem Einflusse des Erdmagnetismus schwingen lassen und die Schwingungsdauer t beobachtet, und nähere dann der Nadel einen Magneten in der Art, daß dem Nordpol der Nadel der Südpol des Magneten zugekehrt ist, so werden offenbar die Oscillationen schneller werden, die jetzt beobachtete Schwingungsdauer t' ist kleiner als t. Wenn f die Kraft bezeichnet, welche die Nadel beschleunigt, wenn nur der Erdmagnetismus wirkt, f' aber die durch die Annäherung des zweiten Magneten modificirte Kraft, so haben wir wieder

$$\frac{f}{f'} = \frac{t'^2}{t^2}.$$

Die Drehwage. Wenn ein Metallfaden durch ein angehängtes Gewicht in 16
vertikaler Richtung gespannt ist, so nimmt er eine bestimmte Gleichgewichtslage an. Wenn man das Gewicht durch Drehung aus einer Gleichgewichtslage herausbringt, so erleidet der Faden seiner ganzen Länge nach eine Torsion, eine Windung, in Folge welcher er ein Bestreben hat, das Gewicht wieder in seine Gleichgewichtslage zurückzuführen.

Coulomb hat zuerst die Torsionskraft studirt und, wie wir schon oben (Band I. Seite 57) gesehen haben, gefunden, daß die Kraft, mit welcher der

Draht in die Gleichgewichtslage zurückzukehren strebt, der Größe der Torsion proportional sey.

Die Coulomb'sche Drehwage ist Fig. 28 dargestellt. Fig 29 zeigt den oberen Theil in einem größeren Maaßstabe. Der vertikale Cylinder, in welchem der Faden herabhängt, ist oben mit einer Messingfassung versehen, welche mit einem Ringe *s s'* endet. Darauf paßt eine in der Mitte durchbrochene Messingplatte *m m'*, welche sich mit sanfter Reibung um die vertikale Axe des Cylinders drehen läßt. Der Ring *s s'* ist an seinem äußeren Umfange in Grade getheilt, und die Scheibe *m m'* hat einen Index, mittelst dessen man die Größe der vorgenommenen Drehungen ablesen kann.

Fig. 28.

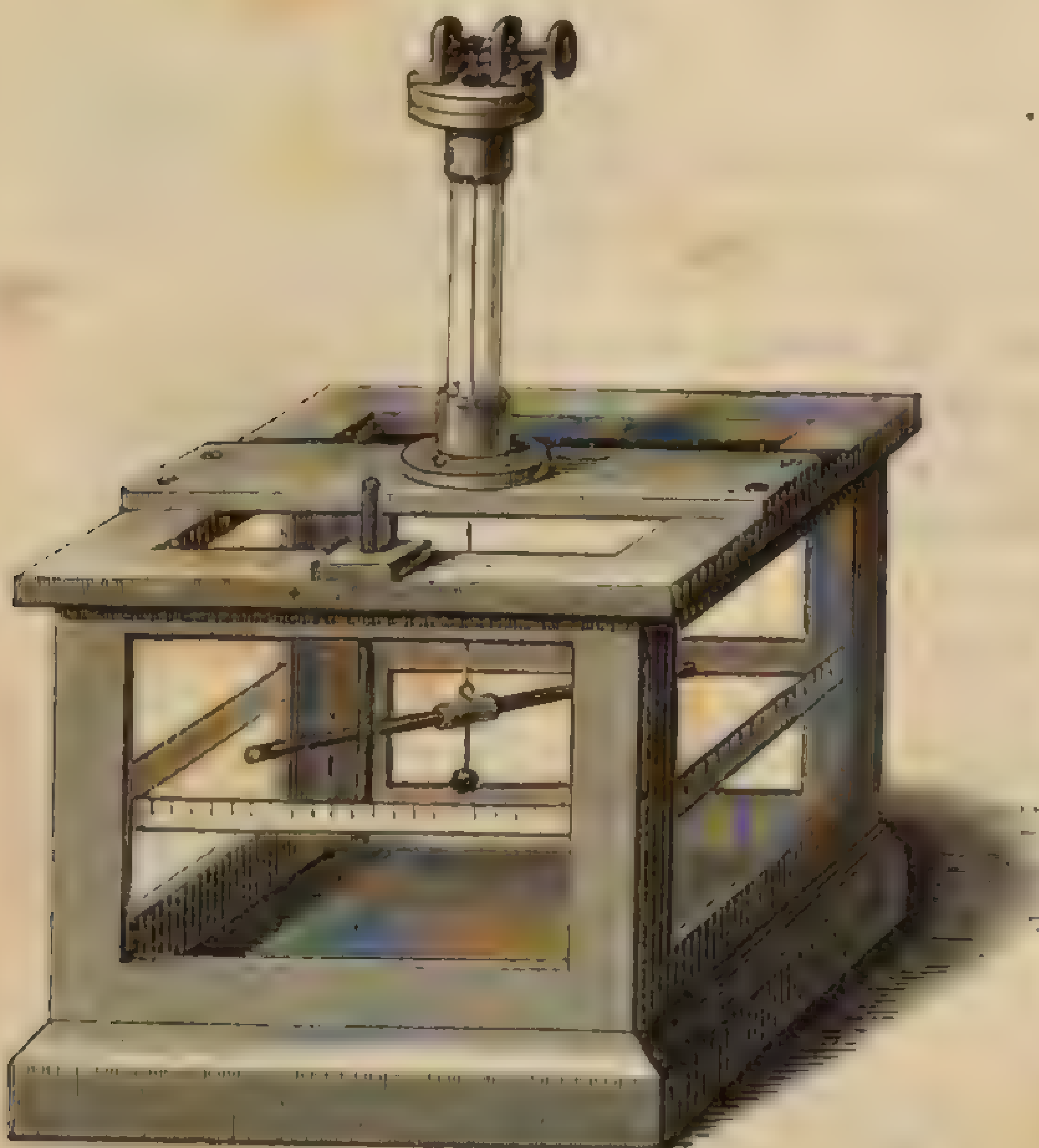
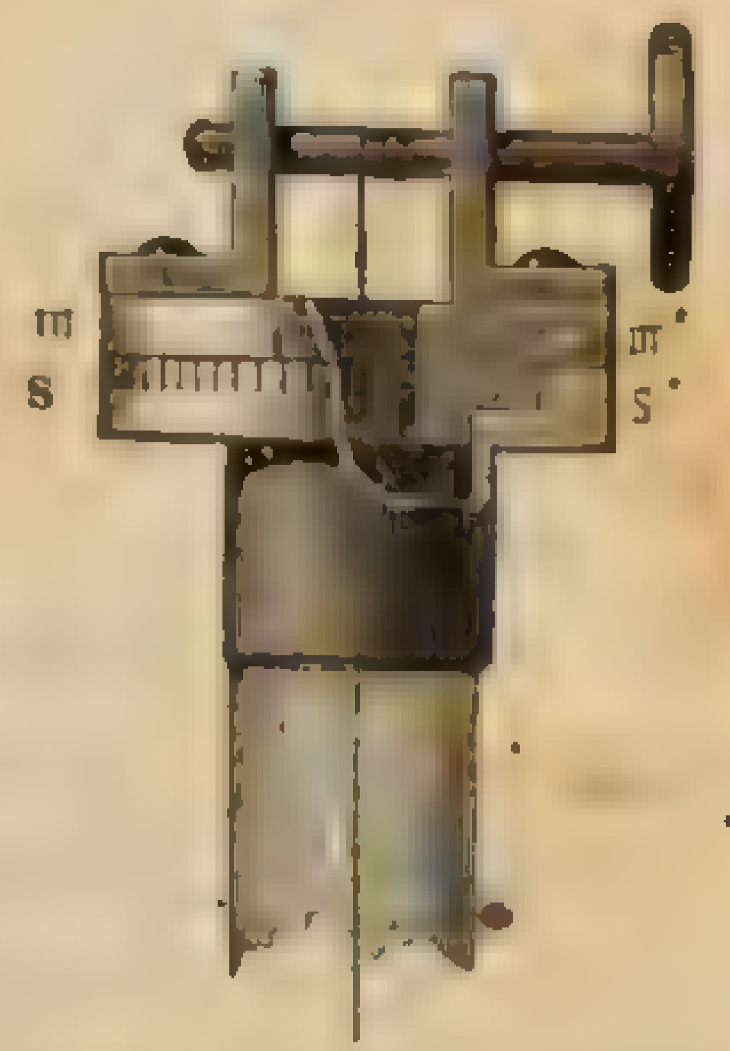


Fig 29.



Am unteren Ende des Fadens hängt eine Art Bügel von Messing oder eine Hülse, in welche man die Magnetstäbe hineinlegt. Am Umfange des Kastens ist ein Papierstreifen aufgeklebt, welcher mit einer Theilung versehen ist. Der Faden muß genau im Mittelpunkte dieser Theilung hängen.

Wenn das Instrument gehörig justirt ist, bestimmt man die Gleichgewichtslage des Fadens, indem man einen nicht magnetischen Stab in die Hülse steckt und den Kopf des Apparates so lange dreht, bis dieser Stab genau in dem magnetischen Meridian liegt; wenn man nun eine magnetisirte Nadel in den Bügel legt, so wird sie durch zwei Kräfte in dieser Lage zurückgehalten, durch die richtende Kraft des Erdmagnetismus und durch den Faden, welcher bei dieser Lage ohne Torsion ist.

Wenn nun der Kopf des Apparates aus dieser Lage herausgedreht wird, so würde auch die Nadel dieser Drehung folgen, wenn sie nicht magnetisch wäre. Der Faden strebt die Nadel in diejenige Lage zu bringen, bei welcher er ohne Torsion seyn würde, der Erdmagnetismus aber zieht sie in den magnetischen

Meridian zurück; unter dem Einflusse dieser beiden Kräfte nun muß die Nadel irgend eine Zwischenlage annehmen, welche von dem Verhältnisse der beiden Kräfte abhängt.

Das Mikrometer, d. h. die Platte $m\,m'$, sey um 180° gedreht und dadurch die Nadel um 20° vom magnetischen Meridian abgelenkt worden, so beträgt die Torsion des Fadens $180 - 20 = 160°$. Wenn V die Drehung des Mikrometers, v die Ablenkung der Nadel ist, so ist die Torsion des Fadens $V - v$.

In Fig. 30 sey $a\,b$ die Richtung des magnetischen Meridians, $c\,d$ die Lage der aus dem magnetischen Meridian abgelenkten Nadel, so ist leicht zu ermitteln, mit welcher Kraft der Erdmagnetismus die Nadel in die Lage des magnetischen Meridians zurückzuführen strebt. Denken wir uns die ganze auf die Nadel wirkende magnetische Kraft in d applicirt. Die Richtung dieser Kraft ist die des magnetischen Meridians, wir können also die Kraft der Größe und Richtung nach durch eine Linie $d\,n$ darstellen. Diese Kraft läßt sich aber in zwei andere zerlegen, deren eine $d\,g$, in der Richtung der Nadel wirkend, keinen Effect hervorbringen kann, während die andere Composante $d\,h$, welche rechtwinklig auf die Richtung der Nadel angreift, dieselbe zu drehen strebt.

Fig. 30.



Bezeichnet m die totale Kraft $d\,n$, so ist die Composante $d\,h$ gleich $m \sin. v$, und dieser Kraft muß die Torsionskraft des Fadens, welche die Nadel nach der andern Seite zu drehen strebt, das Gleichgewicht halten.

Wenn v klein, d. h. wenn es unter 20° ist, so kann man ohne merklichen Fehler den Bogen für den Sinus setzen.

Dividirt man den Torsionswinkel des Fadens $V - v$ durch den Ablenkungswinkel v, so erhält man einen Quotienten $\frac{V-v}{v}$, dessen Werth angiebt, wie viel Grade die Torsion des Fadens betragen müsse, um die Nadel um 1° abzulenken. Für den vorhin betrachteten Fall ist $V - v = 160$ und bei $v = 20$, mithin jener Quotient $\frac{160}{20} = 8$, d. h. bei dem magnetischen Zustande der Nadel ist die Torsionskraft des Fadens für eine Drehung von 8° gerade hinreichend, um der Kraft das Gleichgewicht zu halten, mit welcher der Erdmagnetismus die Nadel in den magnetischen Meridian zurückzuführen strebt, wenn sie einen Winkel von 1° mit diesem Meridian macht.

Nehmen wir an, dieselbe Nadel, mit welcher der vorige Versuch angestellt worden war, sey stärker magnetisirt worden, man hätte das Mikrometer um 495° drehen müssen, damit die Nadel um 15° abgelenkt wird, so wäre die Torsion des Fadens $495 - 15 = 480°$. Für diesen Fall ist die Torsion des Fadens, welche einer Ablenkung von 1° entspricht, $\frac{480}{15} = 32°$. In dem

letztern Falle war also die magnetische Kraft der Nadel 4mal so groß als im erstern.

17 **Die magnetischen Anziehungen und Abstoßungen stehen im umgekehrten Verhältniß des Quadrats der Entfernungen.** Dieses Fundamentalgesetz des Magnetismus war schon früher von einigen Physikern vermuthet worden, allein Coulomb hat die Richtigkeit desselben zuerst mit Hülfe der beiden oben angeführten Methoden nachgewiesen.

1) Durch Oscillationen. Eine kleine Magnetnadel wird an einem Coconfaden so aufgehängt, daß sie in horizontaler Ebene frei oscilliren kann, aber vor störenden Luftströmungen hinlänglich geschützt ist. Diese Nadel läßt man zuerst unter dem alleinigen Einflusse des Erdmagnetismus oscilliren. Es sey n die beobachtete Zahl der Schwingungen in einer Minute, m der horizontale Theil der magnetischen Erdkraft, welche auf sie wirkt.

Nun läßt man den einen Pol eines möglichst stark magnetisirten Stahlstabes auf die Nadel wirken. Dieser Stahlstab wird in den magnetischen Meridian der Nadel ns, Fig. 31, gebracht und zwar in vertikaler Stellung, so daß dem Pol s der Nadel derjenige Pol N des Stabes zugekehrt ist, auf welchen er anziehend wirkt.

Fig. 31.



Der Stab NS muß so groß seyn, daß die Entfernung sN möglichst klein ist im Vergleich zur Entfernung sS, daß man also die Wirkung des Pols S auf s ohne merklichen Fehler vernachlässigen kann.

Bezeichnen wir mit n' die Zahl der Schwingungen der Nadel für den Fall, daß der Pol N des Stabes NS aus einer bestimmten Entfernung auf die Nadel wirkt, und mit f' die Kraft, welche nun die oscillirende Nadel beschleunigt, so hat man im Vergleiche mit dem vorigen Versuche

$$\frac{f'}{f} = \frac{n'^2}{n^2}.$$

Hätte die Nadel unter dem alleinigen Einflusse des Erdmagnetismus 15 Schwingungen in einer Minute gemacht, hingegen 41, wenn der Pol N des Stabes sich 4 Zoll weit von der Nadel befindet, so hätte man

$$\frac{f'}{f} = \frac{41^2}{15^2}.$$

Man bringt nun den Stab in die doppelte Entfernung, so daß N 8 Zoll weit von der Nadel ist, und beobachtet alsdann die Zahl der Oscillationen: gesetzt, man fände ihre Anzahl in einer Minute $n'' = 24$, so ist, wenn man mit f'' die in diesem Falle auf die Nadel wirkende Kraft bezeichnet,

$$\frac{f''}{f} = \frac{24^2}{15^2}$$

Die Größe f' ist offenbar die Summe der erdmagnetischen Kraft und der anziehenden Kraft, welche der Pol N aus einer Entfernung von 4 Zoll auf die Nadel ausübt; letztere ist also offenbar $f' - f$. Ebenso ist die anziehende Kraft, welche der Stab aus einer Entfernung von 8 Zoll auf die Nadel ausübt, $f'' - f$. Durch die Combination der beiden letzten Gleichungen ergiebt sich aber ganz leicht

$$\frac{f' - f}{f'' - f} = \frac{41^2 - 15^2}{24^2 - 15^2} = \frac{1456}{351} = 4{,}1.$$

Dieser Versuch zeigt also, daß die anziehende Kraft eines magnetischen Pols in doppelter Entfernung wirklich nahe 4mal schwächer wird.

2) Mit der Drehwage. Auch für diese Versuche muß man lange magnetische Stahlstäbe oder Drähte anwenden, damit die Wirkung des einen Pols gegen die des andern verschwindend werden könne. Coulomb's Stäbe waren 24 Zoll lang, hatten ½ bis 1 Linie Durchmesser und waren möglichst stark magnetisch. Ein solcher Stab wurde in den Bügeln der Drehwage Fig. 28 gebracht, also horizontal aufgehängt; ein vorläufig angestellter Versuch ergab, daß eine Torsion von 35^0 nöthig war, um den Stab um 1^0 von dem Meridian abzulenken. Nun wurde ein zweiter Stab von oben in vertikaler Richtung in den Kasten hineinsteckt und zwar so, daß der nach unten gekehrte Pol den zunächstliegenden des horizontalen Stabes abstieß. Der horizontale Magnetstab kam nun in einer Lage zur Ruhe, welche einen Winkel von 24^0 mit dem magnetischen Meridian machte.

Bei dieser Lage des hängenden Stabes sind es zwei Kräfte, welche ihn in den magnetischen Meridian zurückzuführen streben, die Erdkraft und eine Torsion des Fadens von 24^0. Da aber für jeden Grad Ablenkung die Kraft, welche den Stab in den Meridian zurückzuführen strebt, einer Torsionskraft von 35^0 gleich ist, so ist die Composante der Erdkraft, welche bei einer Ablenkung von 24^0 die Nadel zurückzuführen strebt, einer Torsionskraft von 24 . 35 oder 840^0 gleich, wozu noch die 24^0, d. h. die Torsion, welche der Faden wirklich hat, addirt werden müssen. Die Totalkraft ist also 864^0.

Nun wurde das Mikrometer so gedreht, daß durch die Torsion des Fadens die horizontale Nadel dem Stabe näher kam. Die Drehung betrug 3mal 360, also 1080^0, und dadurch wurde die Nadel auf 17^0 dem magnetischen Meridian genähert. Dann wurde das Mikrometer noch um 5mal 360^0 gedreht, so daß also jetzt die Totalumdrehung 2880^0 betrug. Dadurch wurde der horizontale Stab dem vertikalen auf 12^0 genähert.

Für die zweite Stellung war das Aequivalent der Erdkraft eine Torsion von 17 . 35 = 595 Graden. Addirt man dazu die wirkliche Torsion des Fadens 1080 + 17 = 1097^0, so erhält man eine Torsionskraft von 1698^0 als Maaß für die abstoßende Kraft, welche der untere Pol des eingeschobenen Magneten ausübt.

Auf dieselbe Weise findet man für die dritte Lage die abstoßende Kraft gleich der Torsionskraft von 3312°.

Die Entfernungen in diesen Versuchen verhalten sich also wie 24 : 17 : 12, die entsprechenden abstoßenden Kräfte aber wie 864 : 1698 : 3312, welche letztere Zahlen sich zu einander sehr nahe umgekehrt verhalten wie die Quadrate der ersteren.

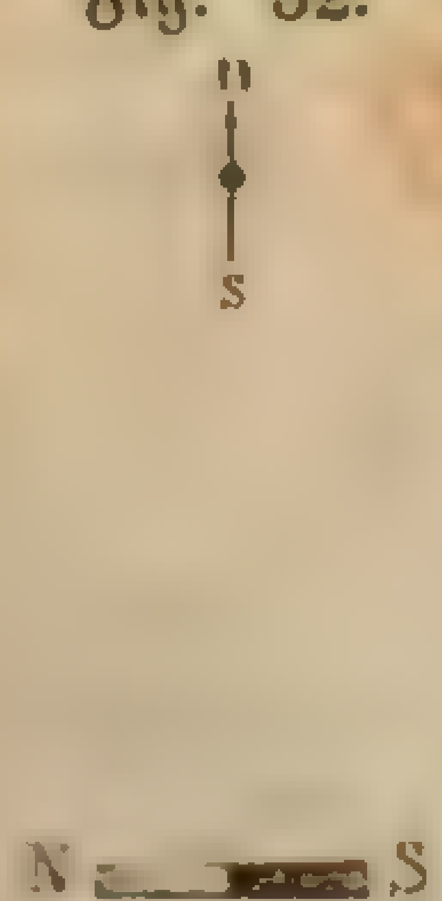
Das eben bewiesene Gesetz bezieht sich streng genommen nur auf die Anziehung und Abstoßung der magnetischen Elemente. Die Gesammtwirkung eines magnetischen Körpers verhält sich aber ganz anders. Die eben angeführten Versuche stellten auch nur deshalb das Gesetz weigstens annäherungsweise heraus, weil die Anordnung so getroffen war, daß der eine Pol des zu prüfenden Magnets in so großer Entfernung war, daß er die Wirkung des anderen nicht wesentlich modificiren konnte. Ist jedoch diese Bedingung nicht erfüllt, so stellen sich ganz andere Resultate heraus, und wenn die Entfernungen groß genug sind gegen die Dimensionen des Magnets, so verhalten sich die Totalwirkungen desselben sehr nahe umgekehrt wie die dritten Potenzen der Entfernungen.

Dieses Gesetz der Totalwirkung eines Magneten ergiebt sich als nothwendige Folge daraus, daß die Wirkung der magnetischen Elemente auf einander im Verhältniß des Quadrats der Entfernung abnimmt. Gauß hat diesen Gegenstand ganz allgemein entwickelt und Formeln gegeben, nach welchen sich die gegenseitige Einwirkung zweier Magnete für jede beliebige gegenseitige Lage berechnen läßt. Für uns sind jedoch nur zwei specielle Lagen von besonderer Wichtigkeit, und wir wollen deshalb auch nur diese betrachten.

Ein Magnetstab und eine nur um eine vertikale Axe drehbare Magnetnadel sollen sich in derselben Horizontalebene befinden, und zwar liege

1) der Drehpunkt der Nadel auf derjenigen Linie, welche in der Mitte des Magnetstabes rechtwinklig auf seiner Längenaxe steht, wie dies Fig. 32 dargestellt ist. In diesem Falle wird der Stab $N\ S$ die Nadel parallel mit seiner Richtung zu stellen streben; oder

Fig. 32.



2) es liege der Mittelpunkt der drehbaren Nadel in der Verlängerung des Stabes, wie Fig. 33; in diesem Falle geht die Wirkung des Stabes dahin, die Nadel so zu stellen, daß ihre Längenaxe in die Verlängerung des Stabes fällt.

In Fig. 32 sowohl, als in Fig. 33 sind die Nadeln rechtwinklig zu der durch den Magnetstab bedingten Gleichgewichtslage dargestellt. Berechnen wir für beide Fälle die Kraft, mit welcher der Magnetstab die Nadel zu drehen strebt, wenn diese rechtwinklig zu der durch den Magnetstab bedingten Gleichgewichtslage steht.

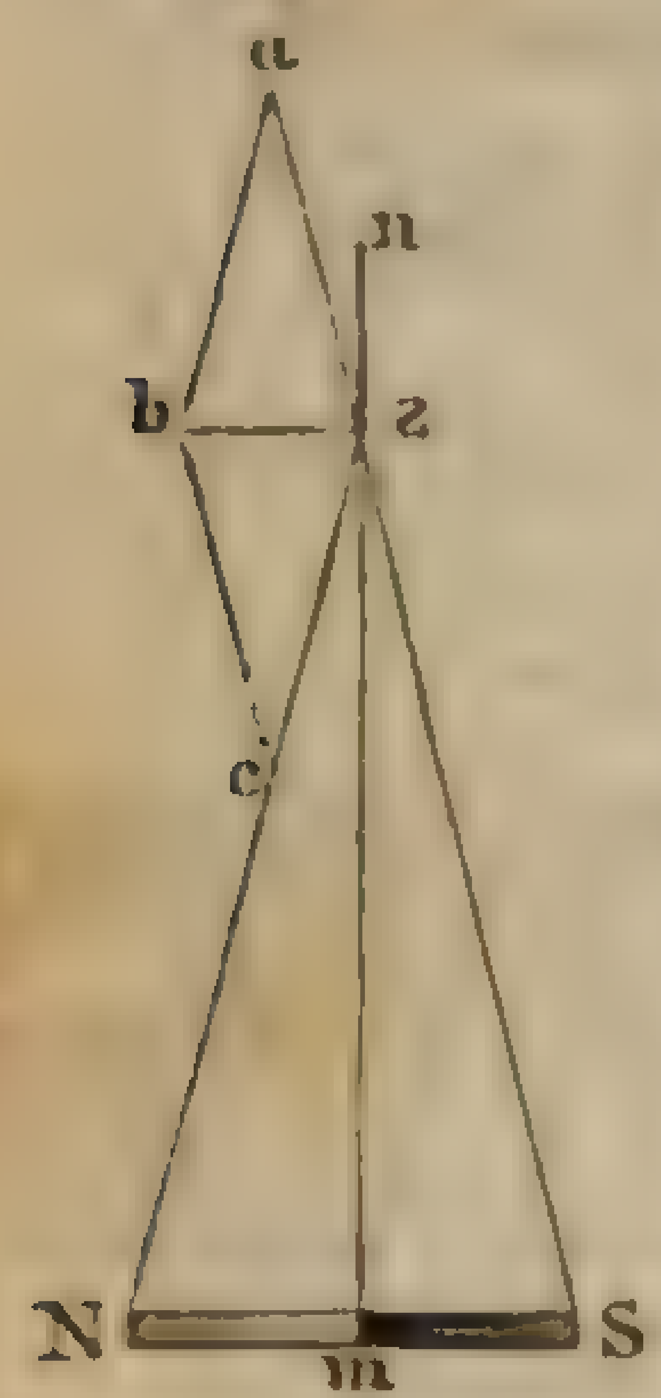
Fig. 33.



Erster Fall. Der Pol S, Fig. 34, stößt den Pol s ab, und zwar in der Richtung $s\,a$. Bezeichnen wir mit q

die abstoßende Kraft, welche diese beiden Pole in der Entfernung 1

Fig. 34.



auf einander ausüben, so ist $\frac{q}{r^2}$ die abstoßende Kraft, welche sie wirklich auf einander ausüben, wenn ihre Entfernung mit r bezeichnet wird.

Die Kraft, $\frac{q}{r^2}$, mit welcher der Pol S den Pol s abstößt, kann durch die Linie $s\,a$ dargestellt werden.

Der Pol N wirkt anziehend auf s, und zwar zieht er ebenso stark an, wie S abstößt, weil S und N gleichweit von s entfernt sind; die anziehende Kraft kann also durch die Linie $s\,c$ dargestellt werden. Nach dem Gesetze des Parallelogramms der Kräfte ergiebt sich $s\,b$ als Resultirende der beiden Kräfte $s\,a$ und $s\,c$. Aus der Aehnlichkeit der Dreiecke NSs und $b\,s\,a$ aber ergiebt sich die Proportion

$$Ss : SN = as : bs.$$

Da nun $Ss = r$, $sa = \frac{q}{r^2}$ ist, so geht jene Proportion über in

$$r : 2\,l = \frac{q}{r^2} : f,$$

wenn wir mit f den Werth der Resultirenden $b\,s$, d. h. die Totalwirkung des Magneten SN auf den Pol s, und mit l die halbe Länge des Magneten bezeichnen; daraus ergiebt sich

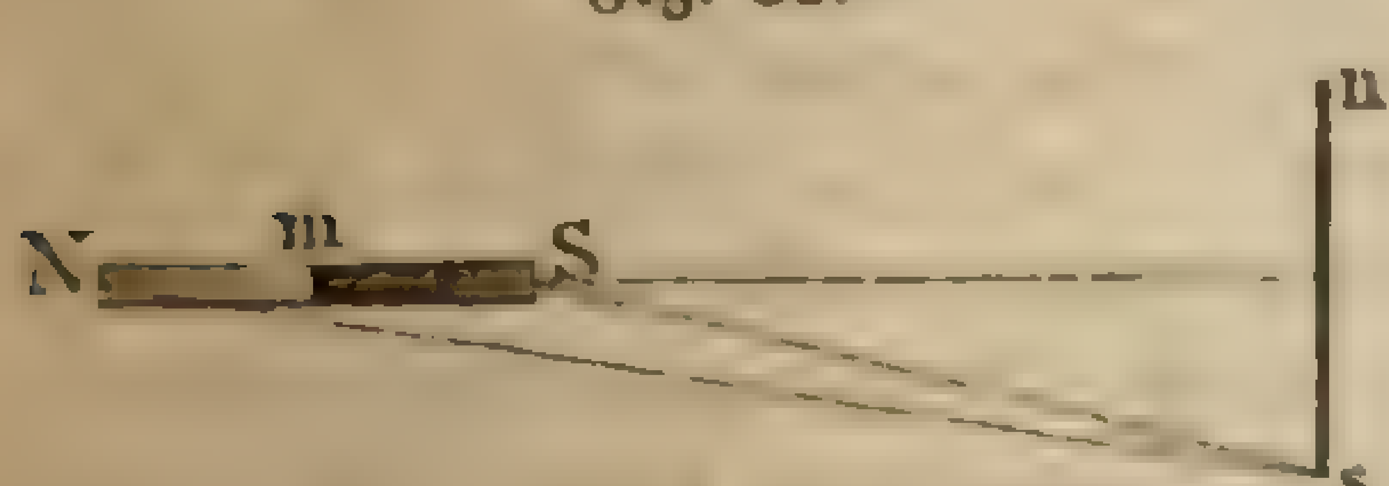
$$f = \frac{2\,l\,q}{r^3} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \quad 1)$$

Der Werth f, d. h. die Totalwirkung des Magneten NS auf den andern steht also im umgekehrten Verhältniß der dritten Potenz von r.

Ist l sehr klein im Vergleich zu r, so ist $s\,m$ nicht wesentlich von $s\,S$ verschieden, und in diesem Falle läßt sich der Satz so aussprechen: Die Totalwirkung eines Magneten in die Ferne muß der dritten Potenz der Entfernung proportional seyn, wenn die Wirkung der einzelnen Pole im umgekehrten Verhältniß des Quadrats der Entfernung abnimmt.

Zweiter Fall. Wenn q die Kraft ist, mit welcher der Pol N den Pol

Fig. 35.



s aus der Entfernung 1 anzieht, so ist seine anziehende Kraft für die Entfernung $Ns = \frac{q}{(r+l)^2}$, wenn mit r die Entfernung $m\,s$ und mit l die halbe Länge des Magneten NS bezeichnet wird; die abstoßende Kraft aber, mit welcher S auf s wirkt, ist demnach gleich $\frac{q}{(r-l)^2}$. Wenn $n\,s$ klein ist im Vergleich zu der Entfernung

des andern Magneten, so kann man ohne merklichen Fehler die Richtung der beiden auf s wirkenden Kräfte als gleich und rechtwinklig auf ns annehmen. Demnach ist die Totalkraft, mit welcher der Magnet NS auf s wirkt,

$$F = \frac{q}{(r-l)^2} - \frac{q}{(r+l)^2} = q\,[(r-l)^{-2} - (r+l)^{-2}]$$

Wenn man $(r - a)^{-2}$ nach dem binomischen Lehrsatze in einer Reihe entwickelt, so kommt

$$r^{-2} + 2\,r^{-3}\,l + 3\,r^{-4}\,l^2 + 4^{-5}\,l^3.$$

Der Ausdruck $(r + l)^{-2}$ giebt eine ganz ähnliche Reihe, welche sich von dieser nur dadurch unterscheidet, daß alle Glieder, welche mit ungeraden Potenzen von l behaftet sind, das entgegengesetzte Zeichen haben, wenn man also die Reihe für $(r + l)^{-2}$ abzieht von der Reihe für $(r + l)^{-2}$, so fällt r^{-2} weg und ebenso alle Glieder, welche mit geraden Potenzen von l behaftet sind, während sich die anderen summiren, man erhält auf diese Weise

$$F = 4\,lqr^{-3} + 8\,l^3qr^{-5} + etc. = \frac{4\,lq}{r^3} + \frac{8\,l^3q}{r^5} + etc.$$

Wenn man alle folgenden Glieder der Reihe gegen das erste vernachlässigt, was um so mehr erlaubt ist, als r im Vergleich zu l wächst, so hat man also

$$F = \frac{4\,lq}{r^3}.$$

Vergleichen wir diesen Werth F mit dem für die erste Lage gefundenen Werth von f, so ergiebt sich

$$F = 2f.$$

Alle vernachlässigten Glieder haben zum Nenner eine Potenz von r, welche höher ist als die 3te.

Gehen wir nun zu den Versuchen über, welche Gauß anstellte, um zu zeigen, daß sich die Totalwirkung eines Magneten in die Ferne wirklich wie die 3te Potenz seiner Entfernung verhält.

Für den Magnet ns wurde der Magnetometerstab angewandt, den wir schon oben (Seite 16) kennen gelernt haben. Südlich von demselben wurde ein anderer ähnlicher Magnetstab so gelegt wie NS, Fig. 32, daß er also rechtwinklig auf dem magnetischen Meridian stand. Die Verbindungslinie der Mittelpunkte beider Magnete fiel mit dem magnetischen Meridian zusammen. Durch die Einwirkung des Stabes NS wurde das Magnetometer abgelenkt, und da der Ablenkungswinkel klein ist, so kann man recht gut die Größe dieses Winkels für ein Maaß der Kraft nehmem, mit welcher der Magnet NS das Magnetometer zu drehen strebt. Bezeichnen wir den Ablenkungswinkel mit v. Der einer bestimmten Entfernung beider Stäbe entsprechende Werth von v wurde jedoch nicht durch einen Versuch, sondern als Mittel aus 4 Versuchen bestimmt.

Bei der Fig. 32 dargestellten Lage wird der Pol s nach der linken Seite hin abgelenkt werden. Kehrt man aber den Magnet NS so um, daß N dahin

zu liegen kommt, wo jetzt S ist, und S dahin, wo jetzt N ist, so wird eine ebenso große Ablenkung nach der rechten Seite erfolgen.

Nachdem die Ablenkungen für die beiden eben erwähnten Lagen ermittelt waren, wurde der Magnetstab in der nämlichen Weise in gleicher Entfernung nördlich von Magnetometer placirt, und zwar einmal so, daß der Pol N östlich, und dann so, daß derselbe Pol westlich lag; dadurch wurde das Magnetometer wieder einmal östlich und einmal westlich abgelenkt. Um den Werth von v mit möglichster Genauigkeit zu bestimmen, wurde das Mittel aus diesen 4 Beobachtungen genommen.

Es wurde nun eine Reihe solcher Versuche für verschiedene Entfernungen angestellt; die folgende Tabelle enthält die Resultate derselben. In der ersten Columne unter r ist immer die Entfernung der Aufhängungsaxe des Magnetometers von dem Mittelpunkte des Stabes NS in Metern angegeben, die zweite Columne unter v enthält die entsprechenden Ablenkungen.

r	v	v'
1,1	1° 57′ 24,8″	
1,2	1 29 40,5	
1,3	1 10 19,3	2° 13′ 51,2
1,4	0 55 58,9	1 47 28,6
1,5	0 45 14,3	1 27 19,1
1,6	0 37 12,2	1 12 7,6
1,7	0 30 57,9	1 0 9,9
1,8	0 25 59,5	0 50 52,5
1,9	0 22 9,2	0 43 21,8
2,0	0 19 1,6	0 37 16,2
2,1	0 16 24,7	0 32 4,6
2,5	0 9 36,1	0 18 51,9
3,0	0 5 33,7	0 11 0,7
3,5	0 3 28,9	0 6 56,9
4,0	0 2 22,2	0 4 35,9

Eine zweite Versuchsreihe wurde gemacht, indem man den ablenkenden Stab in die Lage NS, Fig. 33, gegen den Magnetometerstab brachte. Auch bei dieser Versuchsreihe wurde der, jeder Entfernung entsprechende Ablenkungswinkel nicht aus einem, sondern als Mittel aus 4 Versuchen bestimmt. Bei der Lage, wie sie Fig. 33 dargestellt ist, erhält man eine westliche Ablenkung; dann wurde der Magnet so umgekehrt, daß N an die Stelle von S und S an die Stelle von N kam; dadurch erhielt man eine entsprechende östliche Ablenkung. Nun wurde der Magnet ebenso weit ostwärts vom Magnetometer placirt, und

zwar wurde einmal N nach Osten, einmal nach Westen gekehrt, und so erhielt man abermals eine östliche und eine westliche Ablenkung. Aus den 4 so beobachteten Ablenkungen wurde das Mittel genommen. Die eben angeführte Tabelle enthält in der dritten Columne r' die Mittelwerthe der Ablenkungen, wie sie bei dieser Versuchsweise für die verschiedenen Entfernungen gefunden wurden.

Schon ein flüchtiger Ueberblick dieser Tabelle zeigt, daß für die größeren Entfernungen die Zahlen der zweiten Columne sich unter einander wirklich sehr nahe umgekehrt verhalten wie die dritten Potenzen der entsprechenden Werthe von r. Dasselbe ergiebt sich auch, wenn man die Zahlen der dritten Columne mit denen der ersten vergleicht. Wir sehen daraus, daß die Totalwirkung eines Magneten auf Entfernungen, die einigermaßen groß sind gegen seine Dimensionen, sich wirklich umgekehrt verhalten, wie die dritten Potenzen dieser Entfernungen, also gerade so, wie es sich als Folgerung aus der Annahme ergiebt, daß die Wirkung jedes Poles (oder, besser ausgedrückt, jedes magnetischen Elementes) sich umgekehrt verhält wie das Quadrat der Entfernung.

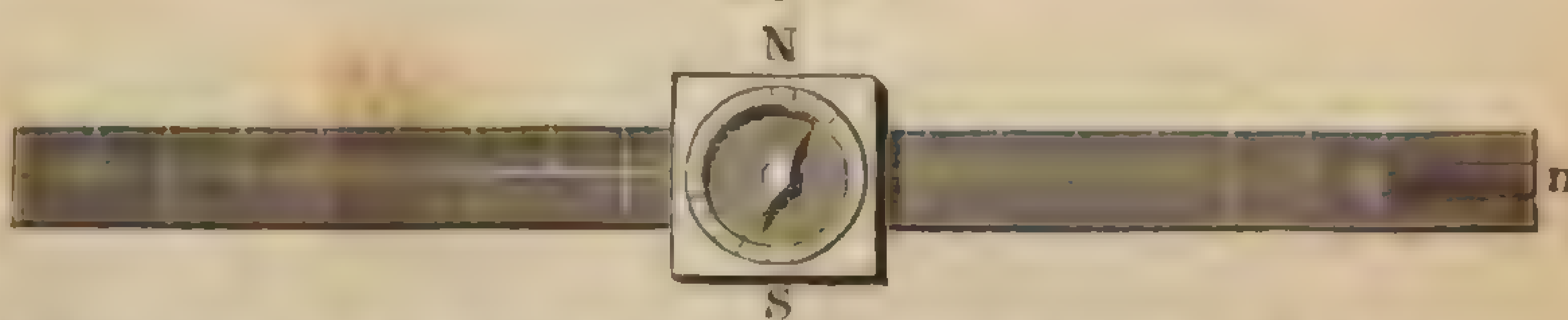
Nach den obigen Entwickelungen ist

$$F = 2f$$

und in der That sind die Zahlen der dritten Columne stets sehr nahe doppelt so groß als die entsprechenden Zahlen der zweiten.

Die Versuche über die Totalwirkung der Magnete lassen sich auch ohne Magnetometer nach W. Weber's Angaben mit einer gewöhnlichen Bussole, die nur in ganze Grade getheilt ist, anstellen, da man noch 10tel Grade schätzen kann. Die Bussole wird auf die Mitte eines etwas breiten Maaßstabes gesetzt, der nur in Decimeter getheilt zu seyn braucht. Der Maaßstab ist 1 Meter lang. Bei einer Versuchsreihe wird der Maaßstab rechtwinklig auf den magnetischen Meridian gelegt, wie Fig. 36 zeigt. Der Magnetstab

Fig. 36.

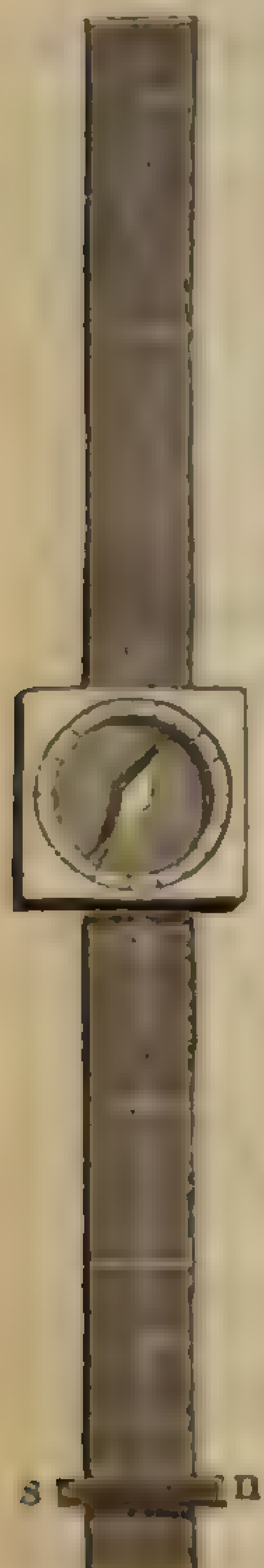


ns, den man zu den Ablenkungsversuchen anwendet, ist am besten genau 1 Decimeter lang. Wie ihn die Fig. 36 zeigt, ist die Entfernung seiner Mitte vom Mittelpunkte der Nadel 450 Millimeter; außerdem beobachtete Weber noch die Ablenkung für die Entfernungen 350 Millimeter und 300 Millimeter. Es versteht sich von selbst, daß für jede Entfernung auf die schon angegebene Weise 4 Versuche gemacht und aus deren Ergebniß das Mittel genommen wurde.

Für die zweite Versuchsreihe, Fig. 37, legt man den Maaßstab in die Richtung des magnetischen Meridians und den ablenkenden Magneten rechtwinklig auf denselben. Wiederholt man nun die Versuche, so wird man finden, daß

die Ablenkungen jetzt sehr nahe halb so groß sind, als man in der ersten Versuchsreihe für dieselbe Entfernung gefunden hatte.

Fig. 37.



Zum Behufe magnetischer Intensitätsbestimmungen hat Weber die Ablenkungen für die in Fig. 36 dargestellte Anordnung und die Entfernungen 450, 350 und 300 Millimeter bestimmt. Die Versuche gaben die in folgender Tabelle zusammengestellten Resultate.

r	v	$tang.\ v$
0,45^m	11° 24′ 0″	0,29163
0,35	23° 28′ 50″	0,4344
0,30	35° 17′ 25″	0,70779

Die unter v stehenden Ablenkungen sind das Mittel aus 4 Versuchen.

Es versteht sich von selbst, daß die Größe der Ablenkung von der Individualität des Ablenkungsmagneten abhängt. Wäre der Magnet ns schwächer magnetisirt gewesen, so wären die Ablenkungen geringer ausgefallen.

Diese Resultate bestätigen nun vollkommen unsere oben gemachten Schlüsse über die Totalwirkung von Magneten. Nach den auf S. 34 gemachten Entwickelungen hat der Werth für die Totalwirkung eines Magneten die Form

$$F = \frac{x}{r^3} + \frac{y}{r^5}.$$

Bei den Gauß'schen Versuchen war die Ablenkung so klein, daß man ohne merklichen Fehler den Ablenkungswinkel für das Maaß der ablenkenden Kraft nehmen kann, bei diesen Versuchen aber ist der Ablenkungswinkel so groß, daß man diese Annahme nicht mehr machen darf. Wie wir früher gesehen haben, ist die Kraft, womit der Erdmagnetismus die Nadel in den magnetischen Meridian zurückzudrehen strebt, $c\ .\ sin.\ v$; durch ein ganz ähnliches Raisonnement ergiebt sich aber auch, daß, wenn F das Drehungsmoment ist, mit welchem der Ablenkungsstab auf die Nadel wirkt, wenn sie im magnetischen Meridian steht, daß alsdann $F\ .\ cos.\ v$ das vom Stabe hier auf die Nadel wirkende Drehungsmoment sey, wenn die Nadel einen Winkel v mit dem magnetischen Meridian macht. Für den Fall des Gleichgewichts aber ist

$$c\ .\ sin.\ v = F\ .\ cos.\ v.$$

und daraus

$$\frac{F}{c} = tang.\ v$$

$$F = c\ .\ tang.\ v.$$

woraus man ersieht, daß die ablenkende Kraft des Magneten nicht dem Ablenkungswinkel, sondern der Tangente des Ablenkungswinkels proportional ist, wir können also die Tangente des Ablenkungswinkels als Maaß für die Kraft des ablenkenden Magneten ansehen; für die Tangente des Ablenkungswinkels gilt also auch Alles, was von der ablenkenden Kraft selbst gesagt wurde, und wir haben also

$$tang.\ v = \frac{x}{r^3} + \frac{y}{r^5}.$$

Jemehr nun r wächst, desto mehr nähert sich der Werth von $tang.\ v$ dem Werthe $\frac{x}{r^3}$. Multiplicirt man auf beiden Seiten mit r^3, so kommt

$$r^3\ tang.\ v = x + \frac{y}{r^2}.$$

Aus dieser Gleichung sieht man, daß, wenn man die Tangente des Ablenkungswinkels mit der dritten Potenz der Entfernung multiplicirt, ein Produkt herauskommen müsse, welches sich um so mehr einem Gränzwerthe x nähert, je größer r wird, d. h. für sehr große Werthe von r ist das Produkt $r^3\ tang.\ v$ stets gleich, wie sich der Werth von r auch ändern mag. Je kleiner aber r wird, desto mehr Einfluß bekommt das Glied $\frac{y}{r^2}$; für kleinere Werthe von r wird also auch der Werth des Produktes $r^3\ tang.\ v$ den Gränzwerth x um so mehr übertreffen, je kleiner r ist.

Bei den eben angeführten Weber'schen Versuchen ist nun r so klein, daß es noch einen sehr merklichen Einfluß auf das Produkt $r^3\ tang.\ v$ ausübt. Aus den angeführten Weber'schen Versuchen berechnet man folgende Werthe von $r^3\ tang.\ v$.

0,018374000	für die Entfernung	$0{,}45^m$
0,018625000	» » »	0,35
0,019110000	» » »	0,30.

Wir sehen also, daß für kleinere r jenes Produkt immer größer wird.

Für die folgenden Bestimmungen der Intensität des Erdmagnetismus ist es von der größten Wichtigkeit, den Gränzwerth zu ermitteln, dem sich das Produkt $r^3\ tang.\ v$ immer mehr nähert, je größer r wird.

Für die Entfernung 450 Millimeter ist der Werth von $tang.\ v$ gleich 0,20163, wenn wir also die beiden ersten Glieder im Werthe von $tang.\ v$ berücksichtigen, so hat man die Gleichung

$$0{,}20163 = \frac{x}{0{,}45^3} + \frac{y}{0{,}45^5} \qquad 1)$$

für die Entfernung 300 Millimeter ist der Werth von *tang. v* gleich 0,70779, es ist also

$$0{,}70779 = \frac{x}{0{,}3^3} + \frac{y}{0{,}3^5} \qquad 2)$$

Aus diesen beiden Gleichungen läßt sich nun der Werth von x bestimmen, man findet

$$x = 0{,}017784.$$

Dies würde genau der Gränzwerth seyn, dem sich das Produkt r^3 *tang. v* um so mehr nähert, je größer r wird, wenn die Versuche ganz frei von Beobachtungsfehlern wären. In diesem Falle müßte man auch genau denselben Werth von x finden, wenn man den ersten und zweiten Versuch in der Weise verbindet, wie wir es eben für den ersten und dritten gethan haben. Für die Entfernung 0,35ᵐ ist der Werth von *tang. v* gleich 0,4344, dies giebt die Gleichung

$$0{,}4344 = \frac{x}{0{,}35^3} + \frac{y}{0{,}35^5}.$$

Combinirt man diese Gleichung mit der Gleichung 1) so kommt

$$x = 0{,}01799.$$

Combinirt man auf dieselbe Weise den zweiten und dritten Versuch, so kommt

$$x = 0{,}01731.$$

Den wahrscheinlichsten Werth von x erhält man, wenn man aus jenen drei Werthen das Mittel nimmt, man findet auf diese Weise

$$x = 0{,}017667.$$

Weber hat nach den Regeln der Wahrscheinlichkeitsrechnung auf eine genauere Weise diesen Werth berechnet und 0,01753 gefunden, was mit unserm Resultate nahe zusammenfällt.

Der Gränzwerth von r^3 *tang. v*, den wir das **reducirte Drehungsmoment** nennen wollen, ist die Tangente des Ablenkungswinkels, um welchen die bewegliche Nadel durch den festen Stab abgelenkt wird, wenn die Mitte der Nadel von der Mitte des Stabes um die Längeneinheit, für welche wir hier das Meter nehmen, von einander entfernt sind, vorausgesetzt, daß die Dimensionen der beiden Magnete im Vergleich zu dieser Entfernung klein genug sind, wie es bei den oben betrachteten Weber'schen Ablenkungsversuchen in der That der Fall war.

Bei der Fig. 36 dargestellten gegenseitigen Lage ist das reducirte Drehungsmoment, also die Tangente des Winkels, um welchen die Nadel durch den um 1 Meter entfernten Stab abgelenkt wird, 0,01753; bei der, Fig. 37, dargestellten gegenseitigen Lage aber nur 0,00876; im ersten Falle ist der entsprechende Ablenkungswinkel 1° 0′ 43″, im letzteren 30′ 21″.

18 **Bestimmung der Intensität des Erdmagnetismus nach absolutem Maaß.** Nachdem wir die Gesetze, welchen die Wirkung der Magnete in die Ferne folgt, kennen gelernt haben, können wir auch zu den Untersuchungen über die Bestimmung der Intensität des Erdmagnetismus zurückkehren.

Die Gesammtkraft, welche auf eine in horizontaler Ebene schwingende Magnetnadel wirkt, läßt sich aus den beobachteten Schwingungszeiten nach den Gesetzen der Pendelbewegung berechnen. Wie wir im ersten Bande gesehen haben, ist für ein einfaches Pendel

$$t = \pi \sqrt{\frac{l}{g}},$$

wo die Buchstaben t, π, l und g die dort angegebene Bedeutung haben.

Wenn man mit einem physischen, also zusammengesetzten Pendel zu thun hat, so muß für l die Länge des einfachen Pendels gesetzt werden, welches mit dem fraglichen physischen gleiche Schwingungsdauer hat. Wie Bd. I. S. 230 gezeigt wurde, findet man aber diese Länge, d. h. die Entfernung des Aufhängepunktes vom Schwingungspunkte des physischen Pendels, wenn man die Summe der Trägheitsmomente aller materiellen Punkte durch die Summe der statischen Momente der Kräfte dividirt, welche auf die einzelnen Punkte wirken. Bezeichnen wir die Summe der Trägheitsmomente mit K, die jener statischen Momente mit C, so ist

$$t = \pi \sqrt{\frac{K}{Cg}}.$$

Um die Sache recht anschaulich zu machen, wollen wir die Bedeutung der Buchstaben K und C noch von einer andern Seite betrachten. Die Summe K der Trägheitsmomente der einzelnen materiellen Theilchen, das Trägheitsmoment des Körpers, ist in der That nichts anders als die träge Masse, die in der Entfernung 1 vom Drehpunkte concentrirt seyn müßte, um der Gesammtheit der beschleunigenden Kräfte, welche die Oscillationen bewirken, denselben Widerstand entgegenzusetzen, wie es die träge Masse des Körpers wirklich thut. Die Summe C der statischen Momente ist aber ebenso die Kraft, die in der Entfernung 1 vom Drehpunkte angreifen müßte, um denselben Effect hervorzubringen, wie die Gesammtheit aller Kräfte, die in verschiedenen Entfernungen angreifen.

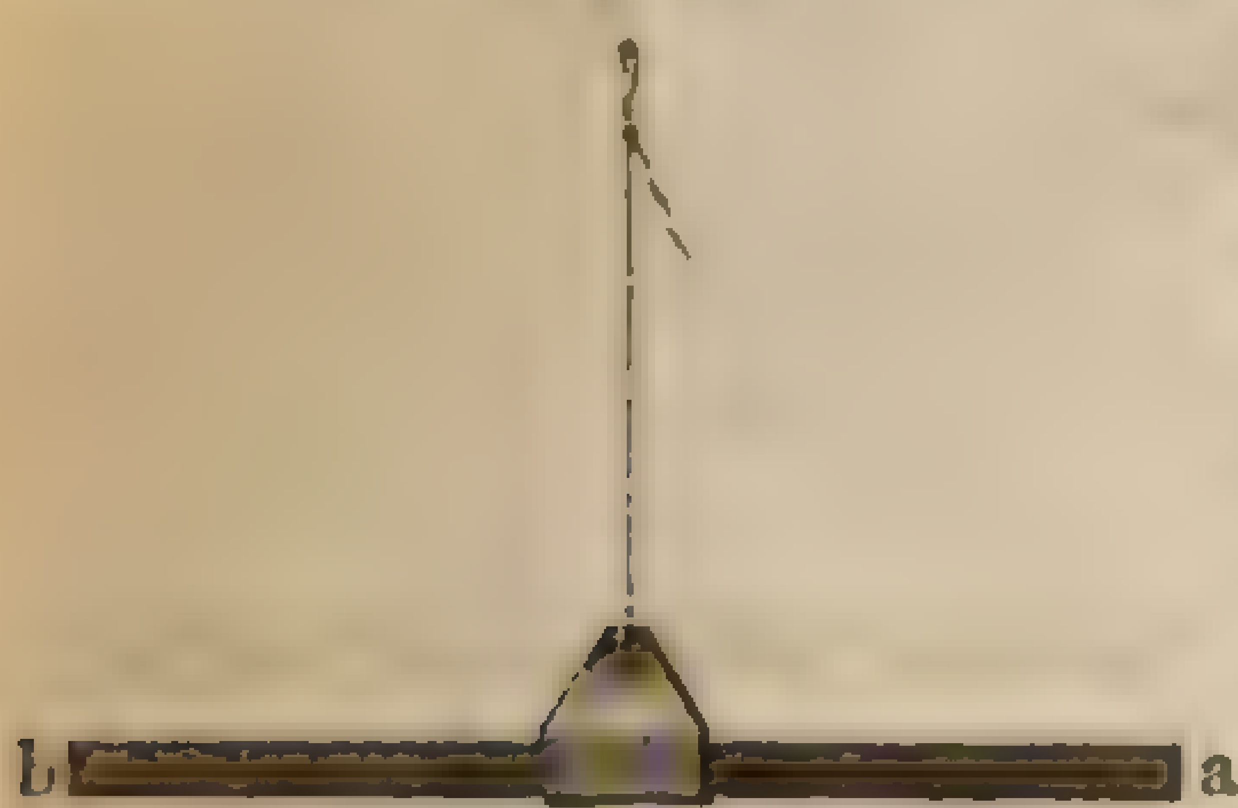
Wenden wir nun unsere Formel auf einen Magnetstab an, welcher in horizontaler Ebene um eine vertikale Axe unter dem Einflusse des Erdmagnetismus oscillirt. Hier ergiebt sich t aus der Beobachtung, K läßt sich nach Principien der Mechanik berechnen, wenn der Stab eine einfache reguläre Gestalt hat; man kann demnach C nach jener Formel bestimmen, man findet

$$C = \frac{\pi^2 K}{g \cdot t^2}.$$

Gauß wandte zu den Schwingungsversuchen, die er zur Bestimmung der erdmagnetischen Kraft anstellte, das schon beschriebene Magnetometer an, bei

welchem Apparate der Magnetstab in einem messingenen Schiffchen liegt, welches mitschwingt. Dadurch ist nun eine genaue Berechnung des Trägheitsmomentes K unmöglich, und es ist deshalb nöthig, die Größe durch den Versuch auszumitteln, wofür Gauß ein äußerst sinnreiches Verfahren angegeben hat, dessen Auseinandersetzung uns hier zu weit führen würde. W. Weber hat einen ganz einfachen Apparat angegeben, um nach der Gauß'schen Methode die Intensität der erdmagnetischen Kraft zu bestimmen, der besonders Reisenden und solchen zu empfehlen ist, die ein Magnetometer mit allem Zugehör nicht anschaffen und aufstellen können. Der Magnetstab, den Weber anwendet, ist ein möglichst genau gearbeitetes Parallelopiped, welches man, wie Fig. 38 zeigt, in eine kleine Hülse von Papier legen kann, wenn man die Schwingungsversuche machen will. Da die Papierhülse so außerordentlich leicht ist, so wird durch sie das berechnete Trägheitsmoment nicht merklich verändert.

Fig. 38.



Der Magnetstab, wie ihn Weber anwandte, war 10,1 Centimeter lang, 1,75 Centimeter breit und wog 142 Gramm (es ist bequem, wenn er genau 10 Centimeter lang ist). Wie uns die Mechanik lehrt, findet man das Trägheitsmoment eines 4seitigen Prismas in Beziehung auf eine feste Axe, welche durch den Schwerpunkt des Prismas geht und der einen Kante parallel ist, nach der Formel $K = \frac{a^2 + b^2}{12}\,p$, wo a und b die Längen derjenigen Kanten bezeichnen, welche nicht mit der Umdrehungsaxe parallel sind; p ist das Gewicht des Stabes. Für Weber's Magnet war $a = 10{,}1$ Centimeter, $b = 1{,}75$ Centimeter, $p = 142$ Gramm, es ist demnach

$$K = \frac{10{,}1^2 + 1{,}75^2}{12}\,142 = 1243{,}36,$$

wenn man das Gramm zur Gewichtseinheit nimmt. Der fragliche Magnetstab setzt also einer jeden beschleunigenden Kraft, die ihn um seine vertikale Axe zu drehen strebt, einen eben so großen Widerstand entgegen, wie eine träge Masse von 1243,36 Grammen, die von der Drehungsaxe um 1 Centimeter entfernt ist.

Die Dauer einer Oscillation, also t, war für den Stab 6,67 Sekunden, es ergiebt sich demnach

$$C = \frac{1243{,}36\;.\;\pi^2}{g\;.\;6{,}67^2} = 0{,}2812,$$

wenn man für π^2 seinen Werth 9,8696 und für g seinen Werth 980,88 (Centimeter) setzt.

Die Zahl 0,2812 drückt die Menge der Gramme aus, deren Druck unter der Wirkung der Schwere auf einen 1 Centimeter langen Hebel gleich ist der

Kraft, mit welcher der Erdmagnetismus den Stab um seine vertikale Axe zu drehen strebt, wenn er rechtwinklig auf dem magnetischen Meridian steht.

Auf diese Weise ist schon die magnetische Kraft, welche den Stab beschleunigt, auf ein bekanntes Maaß zurückgeführt. Damit ist aber der Zweck noch nicht erreicht, man hat noch keinen Werth für die magnetische Erdkraft, denn das Drehungsmoment $C = 0{,}2812$ ist noch von der Natur der Nadel abhängig. Wäre der Magnetismus des Stabes stärker oder schwächer entwickelt gewesen, so würde der Werth von C größer oder kleiner geworden seyn; außerdem ist aber auch C der magnetischen Erdkraft proportional, es ist also

$$C = TM,$$

wenn T die magnetische Erdkraft und M den Stabmagnetismus bezeichnet, es ist also für unser Beispiel

$$T \cdot M = 0{,}2812.$$

Allgemein ausgedrückt ist

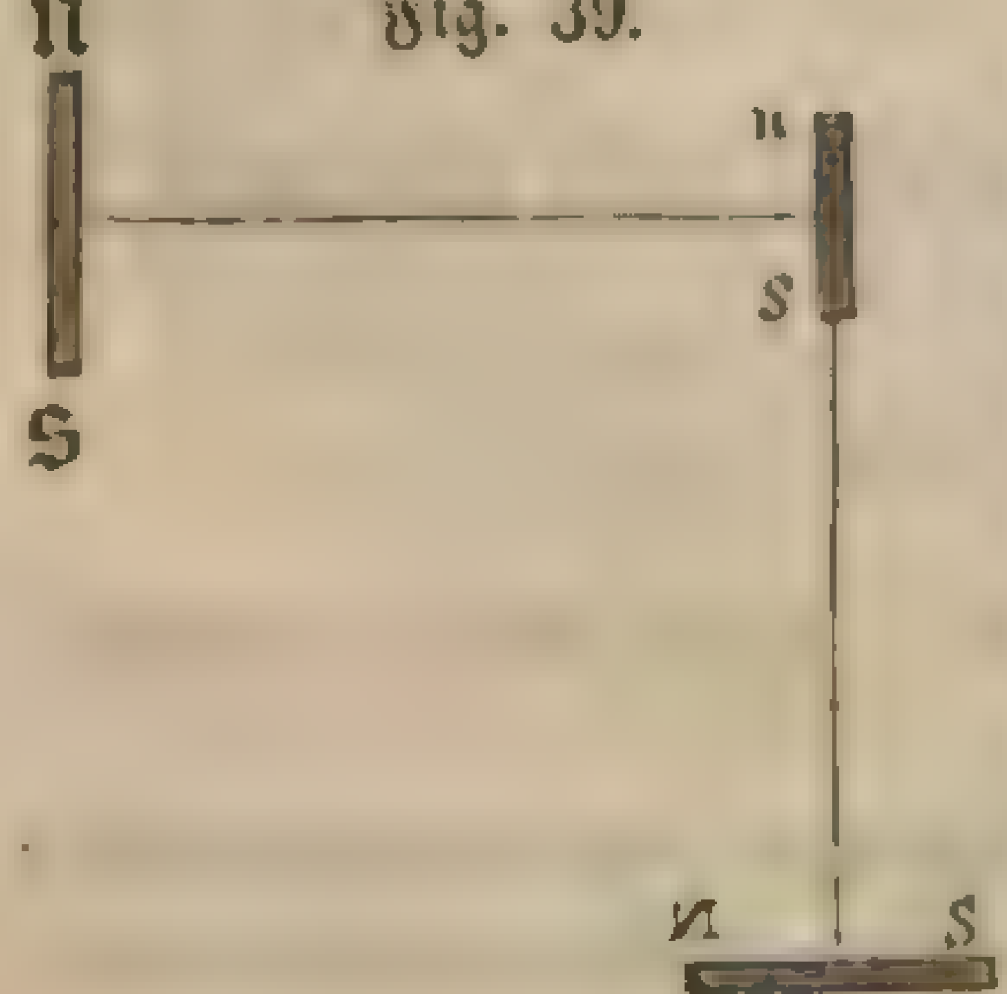
$$TM = \frac{\pi^2 K}{g\,t^2} \; \ldots\ldots \; 1)$$

Wenn es nun gelingt, noch eine andere Relation zwischen den Größen T und M zu finden, wonach man eine zweite Gleichung zwischen T und M bilden kann, so läßt sich M, also gewissermaßen die magnetische Individualität der Nadel eliminiren und ein absoluter Werth für T finden.

Eine solche weitere Beziehung zwischen M und T ergiebt sich aber, wenn wir die Wirkung des Erdmagnetismus auf eine bewegliche Nadel mit derjenigen vergleichen, welche der horizontale Magnetstab hervorzubringen im Stande ist.

Den horizontalen Theil der Wirkung, welche der Erdmagnetismus auf eine horizontale Magnetnadel ausübt, kann man als von einem mit der Nadel in gleicher horizontaler Ebene liegenden Magnetstab ausgehend betrachten, dessen Mitte 1 Meter weit von der Mitte der Nadel entfernt ist. Stellen wir uns etwa vor, der horizontale Theil der magnetischen Erdkraft gehe von einem in der Richtung des magnetischen Meridians liegenden Magnetstabe aus, welcher so liegt, daß die Linie, welche die Mitte der Nadel mit der Mitte des Stabes verbindet, auf dem magnetischen Meridian rechtwinklig steht, wie es Fig. 39 zeigt, wo ns eine bewegliche Magnetnadel **NS** den Magnetstab darstellt, welcher den horizontalen Theil des Erdmagnetismus vertritt.

Fig. 39.



Die Wirkung dieses idealen Magnetstabes auf die Nadel können wir nun vergleichen mit der Wirkung, welche der Magnetstab auf dieselbe hervorbringt, dessen Drehungsmoment wir so eben kennen gelernt haben, vorausgesetzt, daß dieser Magnetstab unter gleichen Verhältnissen auf die Nadel wirkt wie der ideale Magnet, was der Fall ist, wenn er gleichfalls 1 Meter weit von der Mitte der Nadel in NS sich befindet, denn jetzt strebt jeder der beiden Magnetstäbe **NS** und

NS die Nadel mit seiner Richtung parallel zu stellen; NS strebt sie rechtwinklig auf den magnetischen Meridian zu stellen, 𝔑𝔖 strebt sie in denselben zurückzuführen, und die trigonometrische Tangente des Ablenkungswinkels giebt uns das Verhältniß der Kräfte an, mit welchen beide Stäbe auf die Nadel wirken.

Der horizontale Theil des Erdmagnetismus oder der denselben vertretende Magnetstab 𝔑𝔖 dreht die Nadel mit der Kraft mT, der Stab NS wirkt auf dieselbe, nach entgegengesetzter Richtung drehend, mit der Kraft mM, wenn m das magnetische Moment der Nadel ns bezeichnet, M und T aber die so eben besprochene Bedeutung haben. Nun aber ist

$$\frac{mM}{mT} = \frac{M}{T} = r^3 tang. v \ldots\ldots 2)$$

denn das reducirte Drehungsmoment $r^3 tang. v$ ist ja die Tangente des Ablenkungswinkels, welche der Stab in der bezeichneten Lage bei 1 Meter Entfernung von der Nadel bewirkt. Aus der Combination der Gleichungen

$$T M = \frac{\pi^2 K}{g t^2}$$

und

$$\frac{M}{T} = r^3 tang, v$$

ergiebt sich aber

$$T = \frac{\pi}{t}\sqrt{\frac{K}{g\, r^3 tang. v}}.$$

Suchen wir nun für T einen Zahlenwerth zu erhalten. Für den Magnetstab, mit welchem Weber die schon besprochenen Ablenkungs- und Schwingungsversuche gemacht hat, ergab sich, wie wir wissen,

$$T.M = 0{,}2812 \ldots\ldots\ldots\ldots a)$$

und das reducirte Drehungsmoment

$$r^3 tang. v = 0{,}00876,$$

folglich auch

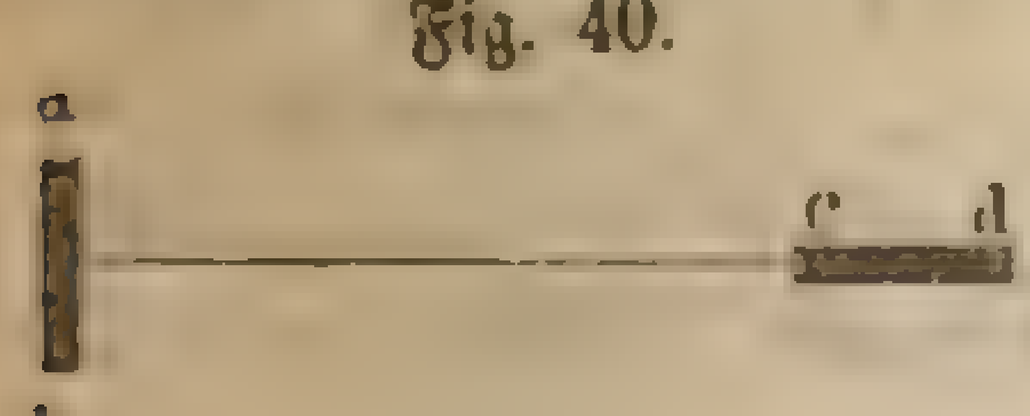
$$\frac{M}{T} = 0{,}00876 \ldots\ldots\ldots\ldots b)$$

Aus der Combination der beiden Gleichungen a) und b) ergiebt sich aber

$$T = 5{,}65.$$

Wir haben jetzt für T einen numerischen Werth gefunden, und nun kommt es darauf an, die Einheit genauer zu definiren, auf welche sich dieser Zahlenwerth bezieht.

Fig. 40.



Wenn in einem Magnetstabe ab, Fig. 40, die Einheit des freien Magnetismus entwickelt ist, so wird er einen gleich stark magnetischen Stab cd, welcher sich auf dem in der Mitte

von *ab* errichteten Perpendikel befindet und dessen Mittelpunkt 1 Meter weit vom Mittelpunkte des Stabes *ab* entfernt ist, aus der in der Figur 40 angedeuteten Stellung mit einer Kraft zu drehen streben, welche gleich ist dem statischen Moment von 1 Gramm, welches an einem Hebelarm von 1 Centimeter angreift.

Wenn die Intensität des horizontalen Theils des Erdmagnetismus $T = 5{,}65$ ist, so heißt das, der Erdmagnetismus wird einen Magnetstab, welcher rechtwinklig zum magnetischen Meridian steht, und in welchem die Einheit des freien Magnetismus entwickelt ist, mit einer Kraft drehen, welche gleich ist dem statischen Momente von 5,65 Gramm den Hebelarm 1 Centimeter angreifend.

Wir haben oben gesehen, daß für den Weber'schen Versuchsstab $MT = 0{,}2812$ ist. Da nun $T = 5{,}65$, so ist für diesen Stab $M = 0{,}0495$; der in demselben entwickelte freie Magnetismus beträgt also $^{495}/_{10000}$ von demjenigen, welchen wir zur Einheit der magnetischen Kraft genommen haben.

Die eben gemachte Bestimmung der horizontalen Intensität des Erdmagnetismus bezieht sich auf Göttingen. Für andere Orte wird man andere Werthe von T erhalten und zwar wächst die Stärke des horizontalen Theils des Erdmagnetismus um so mehr, je mehr man sich dem magnetischen Aequator nähert.

Gauß und Weber legten bei der numerischen Bestimmung der horizontalen Intensität des Erdmagnetismus nach absolutem Maaße andere Einheiten zu Grunde, als es eben, des leichteren Verständnisses wegen, geschehen ist. Zunächst nehmen sie das Milligramm zur Gewichtseinheit und nehmen den Angriffspunkt 1 Millimeter weit von der Drehungsaxe, ferner beziehen sie das reducirte Drehungsmoment r^3 *tang.* v nicht auf die Entfernung von 1 Meter, sondern auf die von 1 Millimeter. Dadurch wird der Werth von T $1000\sqrt{10}$mal kleiner, es ergiebt sich alsdann für Göttingen nach der Formel

$$T = \frac{\pi}{t}\sqrt{\frac{K}{gr^3 \; tang. \; v}} \quad \ldots\ldots \quad 1)$$

der Werth

$$T = 0{,}0179.$$

Nun aber ist die Intensiät der Schwerkraft nicht für alle Orte der Erde dieselbe, oder, mit anderen Worten, der in obiger Gleichung vorkommende Werth von g ist selbst eine variable Größe. Um nun T auf ein durchaus absolutes Maaß zurückzuführen, muß man statt der Schwere eine andere Krafteinheit substituiren, und zwar nehmen jene Physiker als Einheit der Kraft diejenige an, unter deren Einfluß der Fallraum der ersten Sekunde nicht g, sondern 1 Millimeter wäre. Um den Werth von T auf diese Krafteinheit zu reduciren, hat man nur die Gleichung 1) noch mit $\sqrt{g}$ zu multipliciren; es ergiebt sich alsdann

$$T = \frac{\pi}{t}\sqrt{\frac{K}{r^3 \; tang. \; v}}$$

Multiplicirt man den Werth $T = 0{,}0179$ mit $\sqrt{g}$ ($g = 9808$ Millimeter für Göttingen) so ergiebt sich nach absolutem Maaß für Göttingen

$$T = 1{,}774.$$

Nach derselben Einheit war die horizontale Intensität des Erdmagnetismus im Jahre 1845 für

München . . . 1,94
Genf . . . . 1,98.

Die bisher besprochene von Weber vereinfachte Beobachtungsmethode zur Bestimmung der horizontalen Intensität des Erdmagnetismus giebt Resultate, welche bis auf die Größe der täglichen Variationen genau sind.

Der oben ermittelte Werth von T ist nicht der Werth der totalen Intensität der magnetischen Erdkraft, sondern nur der ihrer horizontalen Composante. Die Intensität der totalen magnetischen Erdkraft ist

$$J = \frac{T}{cos.\ i},$$

wo für i der Inclinationswinkel zu setzen ist.

Variationen der Intensität des Erdmagnetismus. Die Intensität 19
des Erdmagnetismus hat ihre täglichen Variationen gerade so wie die Declination und Inclination, erst in neuerer Zeit aber hat man diesem für die Theorie des Erdmagnetismus so wichtigen Elemente eine größere Aufmerksamkeit geschenkt. Gauß hat einen Apparat, das Bifilarmagnetometer, construirt, durch welchen die geringste Aenderung der Intensität des Erdmagnetismus nachgewiesen und dem Auge ganz in der Weise sichtbar gemacht wird, wie die Variationen der Declinaton durch das Magnetometer.

Wenn es uns auch zu weit führen würde, die Einrichtung und den Gebrauch des Bifilarmagnetometers vollständig auseinander zu setzen, so müssen wir doch wenigstens das Princip kennen lernen, auf welchem es beruht.

Wir haben gesehen, wie man mit Hülfe des einfachen Magnetometers die Intensität des Erdmagnetismus mit außerordentlicher Genauigkeit ermitteln kann, diese Methode aber ist unbrauchbar, sobald es sich darum handelt, die täglichen Variationen der Intensität zu ermitteln. Diese Methode zur Bestimmung der magnetischen Intensität beruht auf der Verbindung mehrerer Operationen, welche sämmtlich eine nicht ganz kurze Zeit in Anspruch nehmen, während welcher sich die Intensität ändern kann, man erhält auf diese Weise also nur Mittelwerthe der Intensität, es bleibt ganz verborgen, ob und welche Variationen sie während dieser Zeit erlitten hat.

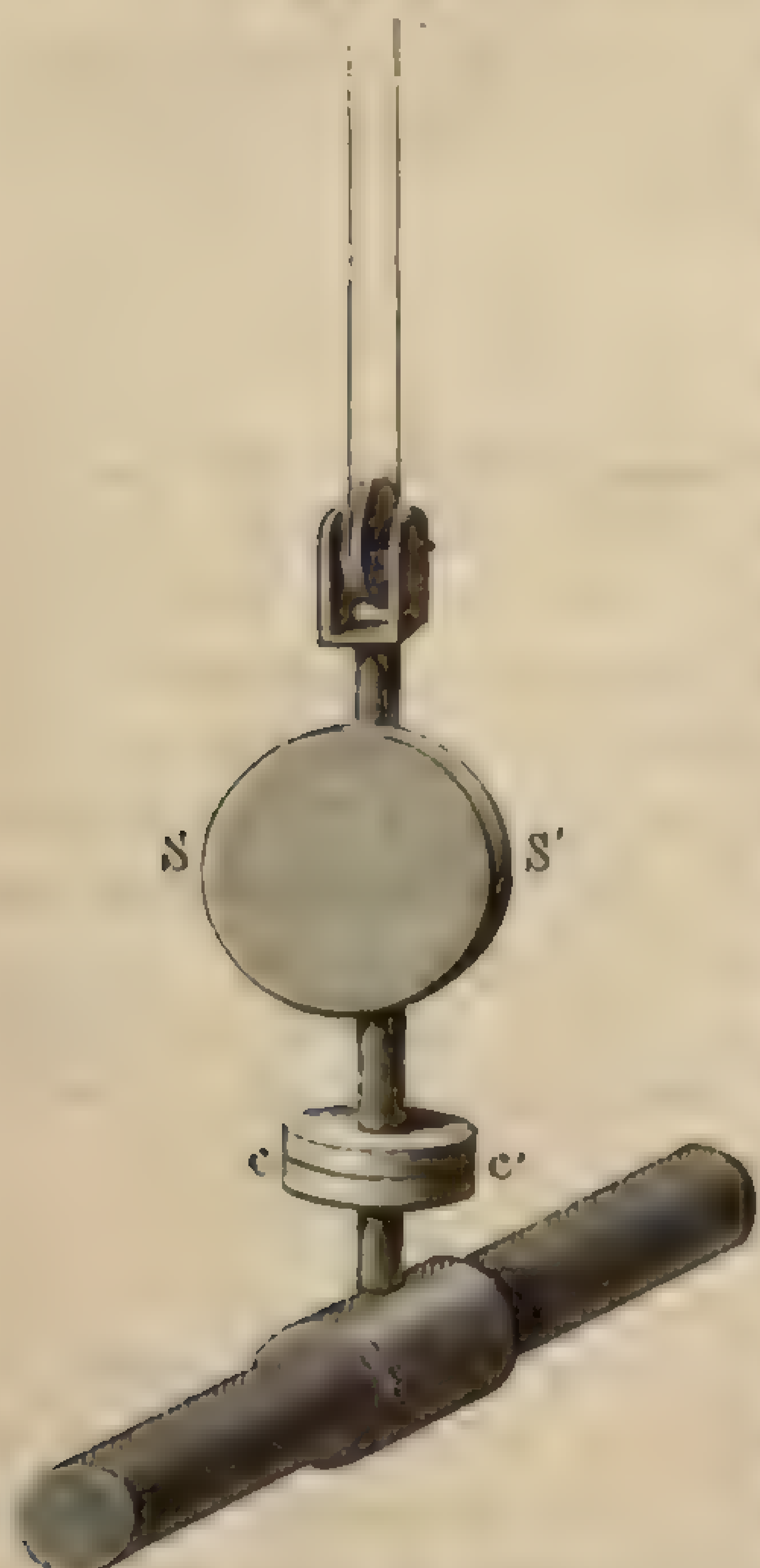
Die Schwingungsdauer eines Magnetstabes, deren genaue Ermittelung namentlich eine etwas längere Zeit in Anspruch nimmt, dient nur dazu, mittelbarer Weise das Drehungsmoment zu bestimmen, welches die erdmagnetische Kraft dem Stabe ertheilt, wenn er sich nicht im magnetischen Meridian befindet. Mit Hülfe des Gauß'schen Bifilarmagnetometers kann man dieses Drehungsmoment auf directem Wege ohne Schwingungsbeobachtungen scharf bestimmen und seine Veränderungen sicher und schnell messen.

Wenn ein Körper, welcher nur durch die Schwerkraft sollicitirt wird, an

zwei Fäden aufgehängt ist, so befindet er sich nur dann im Gleichgewichte, wenn die beiden Fäden in einer Ebene liegen, und wenn der Schwerpunkt des Körpers sich in derselben Ebene zwischen der verlängerten Richtung der beiden Fäden befindet. Sobald man aber den Körper aus dieser Gleichgewichtslage herausdreht, so werden die Fäden gleichsam spiralförmig gewunden, wodurch in ihnen ein Bestreben entsteht, den Körper in seine Gleichgewichtslage zurückzuführen. Die Größe dieser richtenden Kraft hängt von der Länge der Fäden, von ihrer Entfernung und von der Größe des Gewichtes ab, welches sie zu tragen haben.

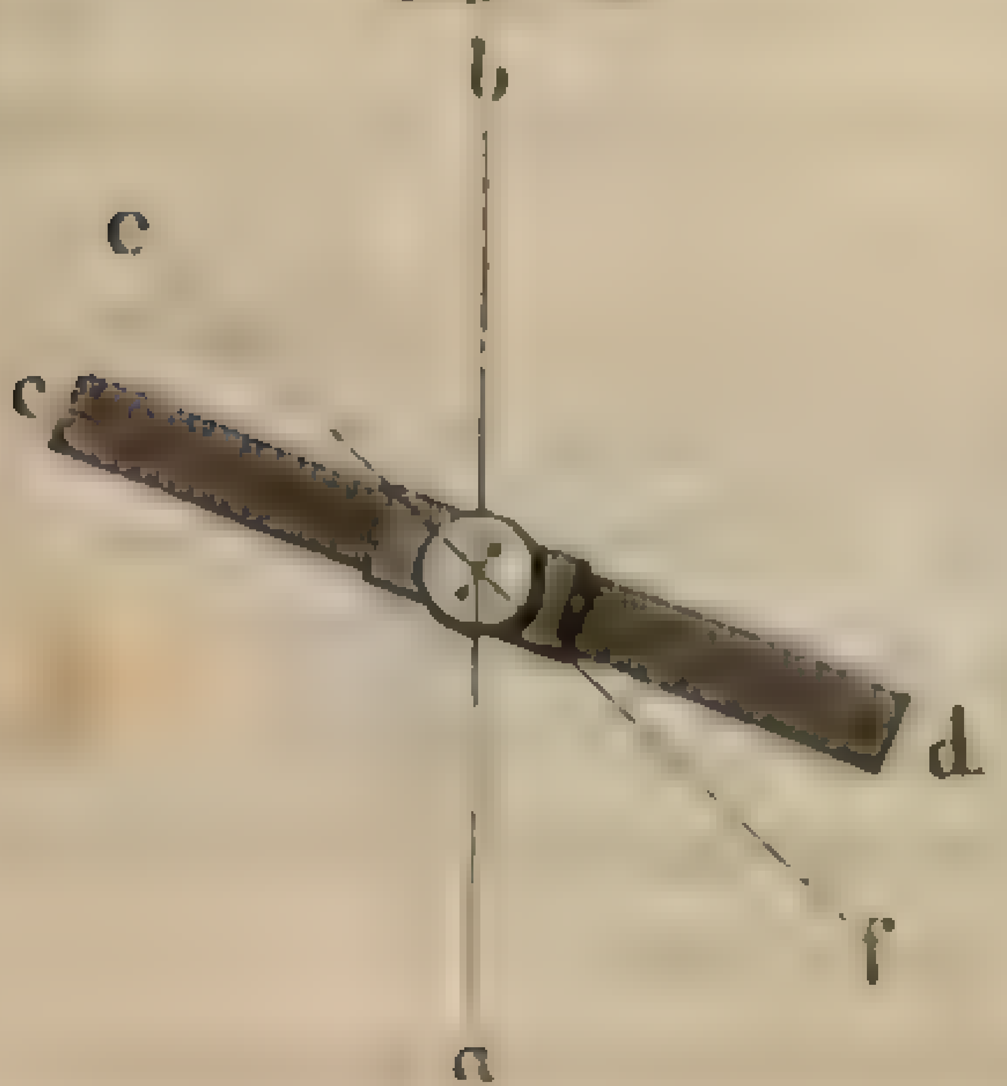
Das Wesentliche der Einrichtung eines Bifilarmagetometers ist aus Fig. 41 zu ersehen. *c c'* ist ein sogenannter Torsionskreis, welcher hier aus zwei Scheiben besteht, von denen die untere sich um ihre Axe drehen läßt, während die obere mit dem Spiegel *S* und den Aufhängefäden in unveränderter Stellung bleibt. Dadurch wird es nun möglich, daß man dem Schiffchen oder der Hülse, in welche der Magnetstab eingeschoben wird, jede beliebige Stellung geben kann, ohne etwas an der Aufhängung zu ändern.

Fig. 41.



Ein solcher Torsionskreis befindet sich auch an dem einfachen Magnetometer; dort wird er so gerichtet, daß, wenn ein nicht magnetischer Stab, etwa ein Messingstab, in das Schiffchen eingeschoben wird, derselbe durch die Torsion des Fadens im magnetischen Meridian gehalten wird, damit man sicher seyn kann, daß, wenn man einen Magnetstab in das Schiffchen einschiebt, die Torsion des Fadens kein Bestreben zeigt, ihn aus dem magnetischen Meridian zu entfernen.

Fig. 42.



Der Torsionskreis des Bifilarmagnetometers sey nun so gedreht, daß ein unmagnetischer Stab, welcher in die Hülse eingeschoben ist, bei der Gleichgewichtslage der Fäden sich in die Linie *cd* (Fig. 42) einstellt, welche einen mehr oder weniger großen Winkel mit dem magnetischen Meridian *ab* macht. Substituirt man nun für den nicht magnetischen Stab einen magnetischen, so wird er sich weder in den magnetischen Meridian, noch in die Richtung *c d* stellen, sondern er wird irgend eine Zwischenlage *ef* annehmen, welche

von dem Verhältnisse der richtenden Kraft des Erdmagnetismus und der der Fäden abhängt.

Dies ist das Princip des Gauß'schen Bifilarmagnetometers. Der Magnetstab liegt in einem Schiffchen, welches von zwei 17 Fuß langen Stahldrähten getragen wird. Es ist Alles so eingerichtet, daß die Zwischenlage *e f*, welche der Magnetstab wirklich annimmt, nahe einen rechten Winkel mit dem magnetischen Meridian macht. Es ist klar, daß die geringste Aenderung in der Intensität des Erdmagnetismus die Lage des Magnetstabes ändern müsse; wenn sie stärker wird, so nähert er sich dem magnetischen Meridian, wenn sie abnimmt, so entfernt er sich von demselben. Da nun die Intensität des Erdmagnetismus fortwährend variirt, so schwankt der Magnetstab fortwährend in derselben Weise wie der Magnetstab eines einfachen Magnetometers; die Veränderungen in der Lage des Stabes werden auf dieselbe Weise beobachtet wie beim Magnetometer.

Vertheilung des Magnetismus und Bestimmung der Pole. 20
Schon beim Eintauchen in Eisenfeilspähne haben wir gesehen, daß die Anziehung an den Enden eines Stabes am größten und daß sie in seiner Mitte gleich Null ist.

Das Gesetz, nach welchem die Stärke der magnetischen Wirkung von den Enden eines magnetischen Stabes nach seiner Mitte hin abnimmt, hat Coulomb durch eine Reihe sorgfältiger Versuche ermittelt. Er hing eine kleine ungefähr 7 Linien lange Probirnadel an einem einfachen Seidenfaden auf und ließ sie zuerst nur unter dem Einflusse des Erdmagnetismus oscilliren; er näherte alsdann den zu untersuchenden Stab der Nadel in vertikaler Richtung, so daß er sich im magnetischen Meridian der Nadel befand. Wenn er den Südpol des Stabes dem Nordpole der Nadel näherte, so wurden die Oscillationen beschleunigt, allein die Beschleunigung der Nadel war ungleich, je nachdem verschiedene Stellen des Stabes der Nadel gegenüber standen, die Schwingungen wurden nämlich um so langsamer, je mehr die der Nadel gegenüber gehaltenen Stellen sich der Mitte des Magnetstabes näherten. Wenn die Mitte der Nadel dem Stabe gegenüber stand, oscillirte die Nadel gerade so schnell, als ob der Stab gar nicht da wäre. Aus der für jede Stelle des Stabes beobachteten Schwingungsdauer konnte man auf die Stärke ihrer magnetischen Anziehung auf dieselbe Weise schließen, die wir schon oben kennen gelernt haben.

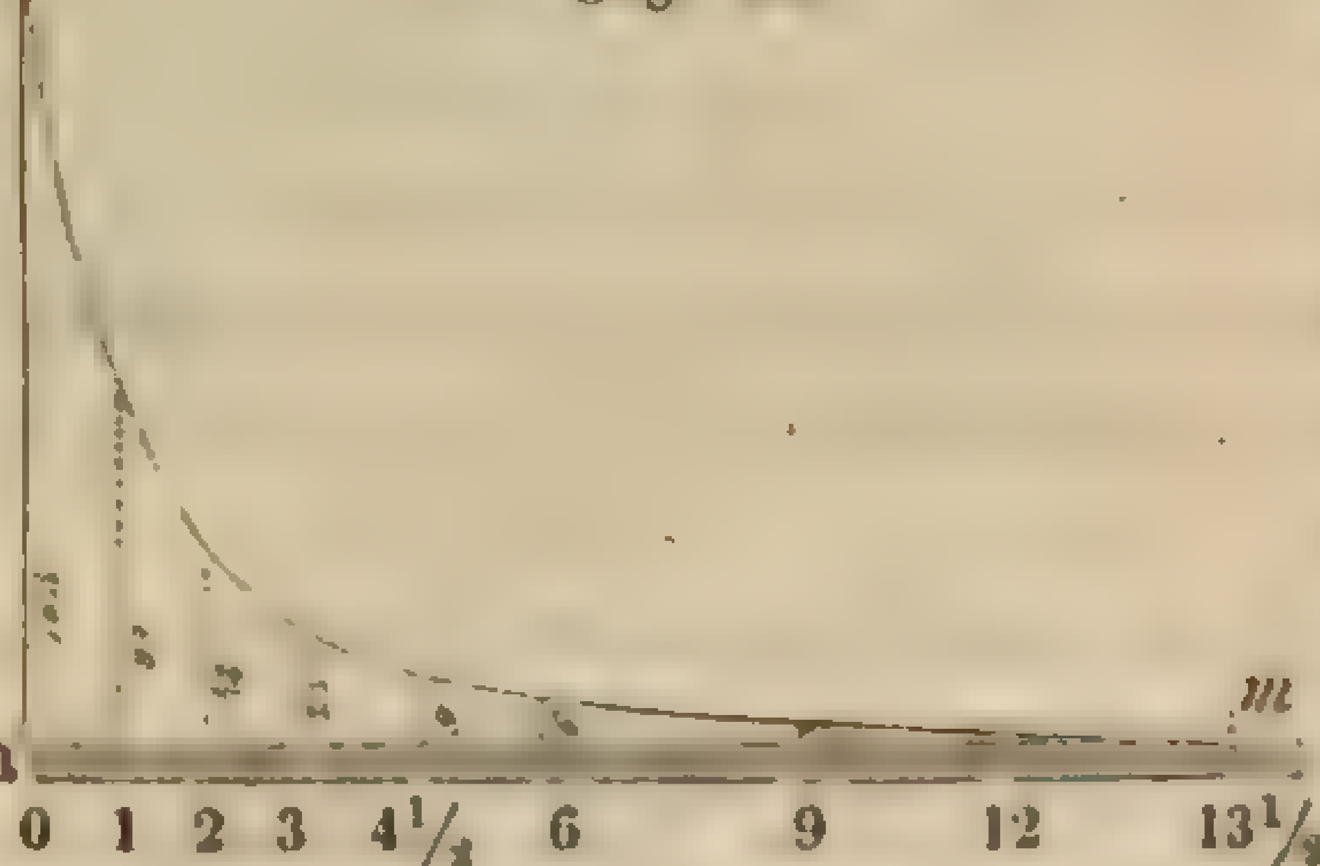
Fig. 43.



Die Resultate seiner Beobachtungen lassen sich, wie Fig. 44, s. f. S., geschehen ist, graphisch darstellen. Es stellt *m a* die eine Hälfte eines Magnetstabes dar, *m* ist seine Mitte, *a* das eine Ende. Die an verschiedenen Stellen errichteteten Ordinaten sind der an dieser Stelle beobachteten magnetischen Intensität proportional nach einer beliebigen Einheit aufgetragen. Man sieht, daß am Ende *a* die Intensität am größten ist, daß sie von *a* gegen die Mitte hin anfangs sehr rasch abnimmt und in der Mitte Null wird. Die Kurve hat für alle Stäbe, deren Länge mehr als 6 bis 8 Zoll beträgt, genau dieselbe Gestalt, so

daß in der Mitte ein mehr oder weniger großer Raum sich befindet, für welchen die Intensität so gut wie Null ist. Es geht daraus hervor, daß die Pole aller Magnetstäbe, deren Länge mehr als 6 bis 8 Zoll beträgt und welche gleich stark sind, in gleichen Entfernungen von den Enden liegen; denn da ein Pol nichts ist als ein Angriffspunkt der Resultirenden aller einzelnen anziehenden Kräfte, so muß die Lage dieses Poles immer dieselbe bleiben, so lange die in den verschiedenen Punkten angreifenden Kräfte dasselbe Gesetz befolgen.

Fig. 44.



Für solche längere Stäbe hat Coulomb durch Rechnung gefunden, daß die Pole ungefähr 18 Linien weit von den Enden entfernt liegen. Bei kürzeren Magnetstäben beträgt die Entfernung der Pole von den Enden ungefähr $\frac{1}{3}$ der halben Länge. Bei einem 3 Zoll langen Stabe werden also die Pole etwas mehr als 6 Linien von den Enden entfernt seyn.

Diese Resultate setzen jedoch voraus, daß die übrigen Dimensionen des Stabes im Vergleich zu seiner Länge sehr klein sind, daß sie eine ganz regelmäßige Gestalt haben und daß sie ganz gleichförmig magnetisirt sind. Wenn diese Bedingungen nicht erfüllt sind, lassen sich die Pole nicht mehr theoretisch bestimmen, man muß sie direct mit einer Probirnadel suchen, wenn es etwa darauf ankommen sollte, ihre Lage zu kennen. Bei rautenförmigen Nadeln liegen die Pole der Mitte näher.

Die nach den Enden eines Magnetstabes hin immer stärker werdende magnetische Intensität läßt sich aus der Vorstellung, die man sich von einem Magnet macht (Seite 8), sehr leicht erklären. Es stelle Fig. 45 eine Reihe von Partikeln vor, welche einen Magnetstab bilden. In jedem Partikel sind die beiden Fluida getrennt und auf dieselbe Weise gerichtet. Es befinde sich nun in a ein magnetisches Element, welches mit dem Magnetismus

Fig. 45.



der schwarzen Stellen von gleicher Natur ist. Die eine Hälfte des mit 1 bezeichneten Partikelchens zieht es an, die andere Hälfte stößt es ab, die Anziehung ist aber vorherrschend, weil die weiße Hälfte des Partikelchens 1 dem Punkte a näher liegt. Bezeichnen wir die Resultirende der beiden Kräfte, also die Anziehung, welche das Partikel 1 als Ganzes auf a ausübt, mit r. Das Partikel 2 wirkt ganz auf dieselbe Weise auf das Element in a, nur ist seine Totalwirkung r' wegen der größeren Entfernung bedeutend kleiner. Noch kleiner ist die Wirkung r'' des Partikelchens 3 auf das Element in a u. s. w. Die Totalanziehung des Magnetstabes auf das Element a läßt sich also durch die Summe

$$S = r + r' + r'' + r''' + etc.$$

darstellen, wo jedes folgende Glied immer kleiner ist als das vorhergehende.

Befände sich das Element, auf welches der Stab wirkt, nicht in a, sondern in b, so würde sich die Wirkung der beiden Partikelchen 1 und 2 offenbar aufheben, das Theilchen 3 ist das erste, dessen Wirkung in Betracht zu ziehen ist; es ist aber von b so weit entfernt, wie 2 von a; die Kraft, mit welcher es das Element in b anzieht, ist also ungefähr gleich r', kurz, die Totalwirkung des Stabes auf b ist

$$S' = r' + r'' + r''' + etc.$$

Daß S' schon bedeutend kleiner seyn muß als S, ergiebt sich daraus, daß man den Werth von S' erhält, wenn man von dem Werthe von S das größte Glied der Summe, nämlich r, wegnimmt.

Befände sich das magnetische Element, auf welches der Stab wirkt, in c, so würden sich die Wirkungen von 1 und 4, von 2 und 3 aufheben. Das Theilchen 5 ist also gewissermaßen das nächste, welches auf c wirkt, und seine Wirkung läßt sich durch r'' ausdrücken; den Totaleffect des Stabes auf c aber drückt die Reihe

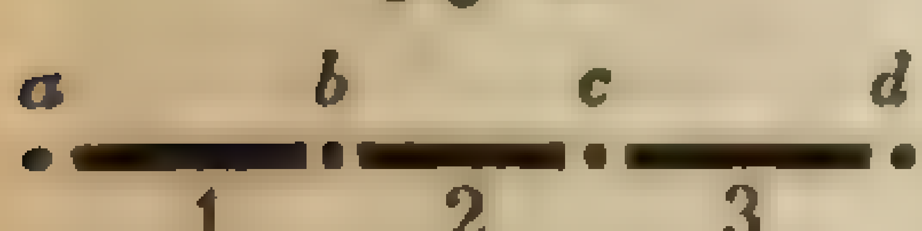
$$S'' = r'' + r''' + etc.$$

aus, welche wieder bedeutend kleiner ist als S'. In der Weise kann man nun fortschließen und findet auch leicht, daß die Wirkung in der Mitte des Stabes gleich Null seyn müsse.

Van Rees hat untersucht, ob wohl durch die ganze Länge des Magnetstabes hindurch die magnetische Polarität der einzelnen Partikelchen gleich stark, oder ob sie in der Mitte des Stabes oder an seinen Enden am stärksten entwickelt ist. In etwas veränderter Form ist seine Schlußweise folgende;

Sind 1, 2, 3, Fig. 46, eine Reihe magnetischer Partikelchen, so kann man sich die Wirkung, welche jedes einzelne in der Ferne hervorbringt, daher rührend denken, daß eine bestimmte Menge der beiden magnetischen Flüssigkeiten gerade an den entgegengesetzten Endpunkten eines jeden Partikelchens angehäuft sey. Statt dessen kann man sich aber auch die entsprechenden Mengen der magnetischen Fluida immer in den Punkten vereinigt denken, welche in der Mitte zwischen zwei Partikelchen liegen; es wären also gewissermaßen a und b die Pole von 1, b und c die von 2, c und d die von 3. In a wäre der Nordmagnetismus von 1, in d der Südmagnetismus von 3; in b fällt der Südmagnetismus von 1 und der Nordmagnetismus von 2 zusammen. Der Nordmagnetismus von 3 fällt mit dem Südmagnetismus von 2 auf den Punkt c.

Fig. 46.

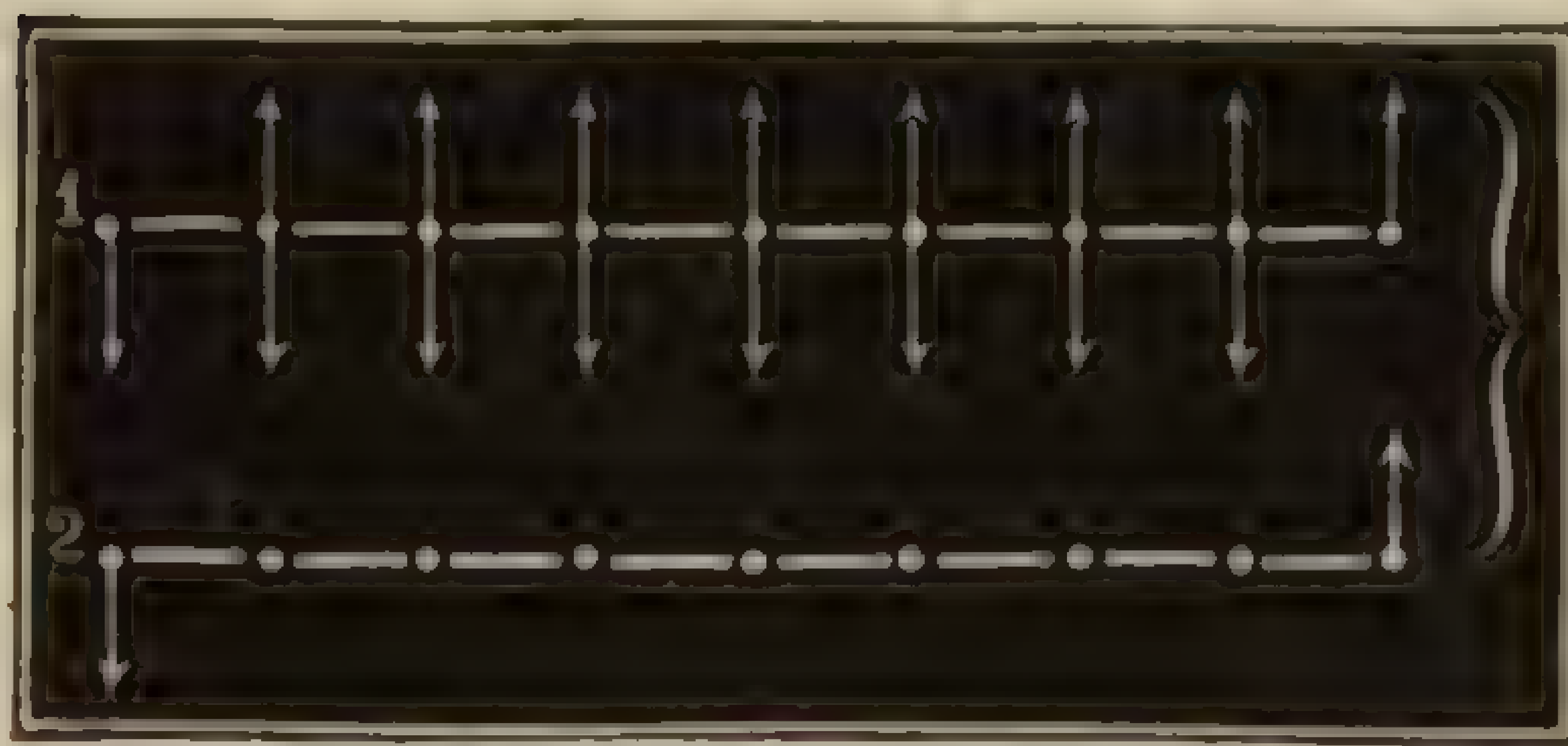


Halten wir diese Vorstellungsweise fest, so läßt sich leicht entwickeln, welche Erscheinungen ein Magnetstab hervorbringen muß, je nachdem alle seine Partikelchen gleich stark magnetisch sind, oder die Polarität der Partikelchen von der Mitte zu den Enden hin zu- oder abnimmt. Betrachten wir die drei Fälle näher.

1) die magnetische Polarität sey in allen Partikelchen der ganzen Länge des Stabes nach gleich stark entwickelt, so stellt uns 1 Fig. 47 (f. S.) den Zustand eines solchen Stabes dar, wenn wir durch die aufwärts gerichteten Pfeil-

chen den Nord-, durch die abwärts gerichteten den Südmagnetismus darstellen. Da nun in jedem dieser Punkte gleich viel Nordmagnetismus (dem Theilchen links zugehörig) und gleich viel Südmagnetismus (dem Theilchen rechts zugehörig) zusammenfällt, so kann in allen diesen Punkten kein freier Magnetismus auftreten, und wenn wir nur den freien Magnetismus berücksichtigen, so stellt uns also Fig. 47 den Zustand des Stabes vor. Freier Magnetismus zeigt sich nur an den Endflächen, im übrigen ist der ganzen Länge des Stabes nach kein freier Magnetismus mehr vorhanden. Ein solcher Magnet müßte also nach Außen gerade so wirken, als ob seine Endflächen allein magnetisch wären, und zwar die eine mit Nord-, die andere mit Südmagnetismus beladen.

Fig. 47.



Da dies nun bei magnetischen Stahlstäben in der That nicht der Fall ist, so folgt, daß eine solche gleichförmige Vertheilung der freien magnetischen Fluida über den ganzen Stab hin in der That nicht stattfindet.

2) Wenn die magnetische Polarität der Theilchen in der Mitte am schwächsten entwickelt wäre und gegen die Enden hin zunähme, wie dies in 1 Fig. 48 versinnlicht ist, so würde sich eine Vertheilung des freien Magnetismus ergeben, wie sie in 2 Fig. 48 dargestellt ist. In der Mitte des Magneten würde der freie Magnetismus 0 seyn und von dort gegen die Enden anfangs zu- und dann wieder abnehmen, um in den entgegengesetzten Magnetismus überzugehen; auf der einen Hälfte des Stabes wäre also freier Nordmagnetismus, während die Endfläche südmagnetisch ist; die andere Hälfte mit freiem Südmagnetismus hätte ein nordmagnetisches Ende. Eine so sonderbare Vertheilung des freien Magnetismus findet bekanntlich bei normal magnetisirten Stahlstäben durchaus nicht Statt.

Fig. 48



3) Nehmen wir an, die magnetische Polarität der Theilchen sey in der Mitte

am stärksten entwickelt, und nehme von da nach den Enden hin ab, wie es 1 Fig. 49 versinnlicht, so ergiebt sich daraus eine Vertheilung des freien Magnetismus, wie sie in 2 Fig. 49 dargestellt ist. In der Mitte ist der freie Magnetismus ebenfalls 0; von da wächst auf der einen Seite der freie Nordmagnetismus, auf der andern der freie Südmagnetismus bis an's Ende.

Fig. 49.

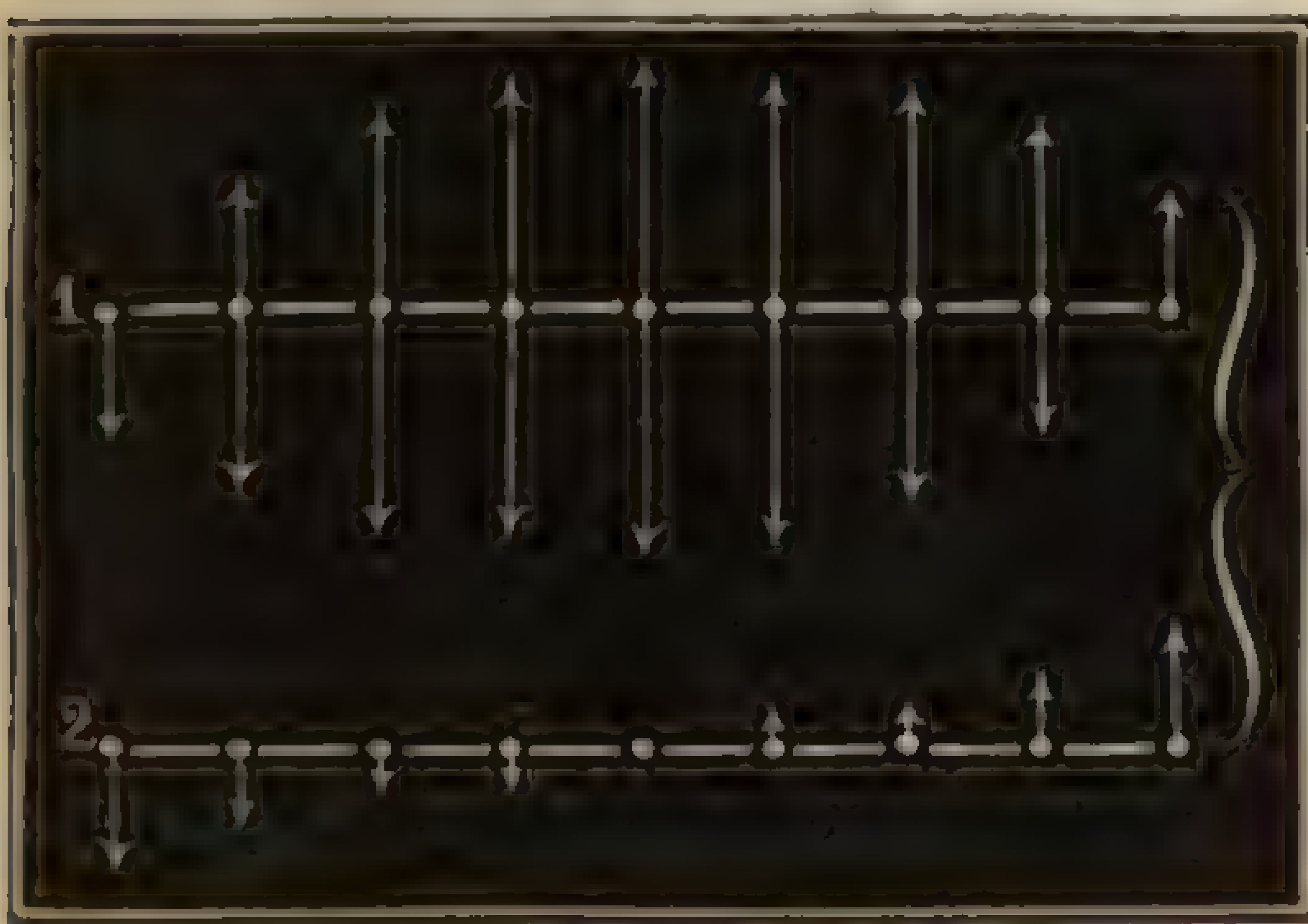


Fig. 50.



Da dies in der That die Art der Vertheilung des freien Magnetismus in normal magnetisirten Stahlstäben ist, so sind wir zu der Annahme berechtigt, daß in ihnen die magnetische Polarität der Theilchen in der Mitte stärker entwickelt ist, als gegen die Enden hin.

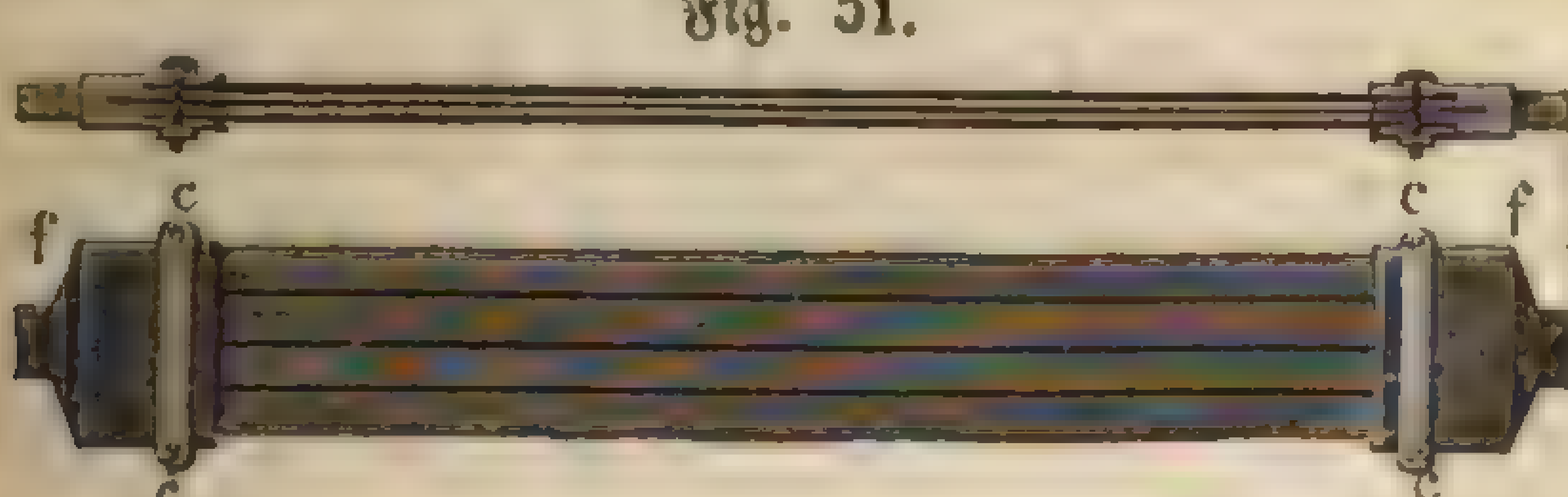
Für die Richtigkeit dieser Ansicht spricht auch die Thatsache, daß, wenn man eine Reihe von Stahlstäbchen hinter einander legt, wie es Fig. 50 angedeutet ist, und sie dann so behandelt, wie einen einzigen langen Stahlstab, den man magnetisiren will, daß alsdann nach dem Auseinandernehmen die Stäbchen einen um so stärkeren Magnetismus zeigen, je näher sie während des Streichens der Mitte lagen.

Viertes Kapitel.

Von den verschiedenen Methoden des Magnetisirens und den Ursachen, welche die Coërcitivkraft modificiren.

Die Methode von Duhamel oder der getrennte Strich besteht 21
darin, daß man zwei starke Magnetbündel von der Art, wie sie Fig. 51 dar-

Fig. 51.



gestellt sind, so legt, daß die Axe des einen Bündels in die Verlängerung der Axe des andern zu liegen kommt, und daß die entgegengesetzten Pole einander zugekehrt sind, wie man Fig. 52 sieht, wo f den einen Pol des einen Bündels, f' den ungleichnamigen des andern darstellt. Die zu magnetisirende Nadel legt man nun so, wie man in der Fig. 52 sieht, und unterstützt sie in der Mitte noch durch ein Holzstück l, auf welchem man sie auch noch befestigen kann, damit keine Verrückung möglich ist. Nun nimmt man die beiden Streichmagnete g und g', den einen in die rechte, den andern in die linke Hand, setzt sie 25 bis 30 Grad gegen die Horizontale geneigt in der Mitte des zu magnetisirenden Stabes auf, streicht alsdann mit langsamer regelmäßiger Bewegung von der Mitte aus gegen die Enden, so daß die Magnetbündel g und g' gleichzeitig an den entgegengesetzten Enden der Nadel ankommen, hier hebt man sie ab, setzt wieder in der Mitte auf und wiederholt dann dasselbe Verfahren mehrere Mal. Es versteht sich von selbst, daß die Streichmagnete die Nadel mit demjenigen Pol berühren müssen, nach welchem man sie hinführt. Diese Methode ist besonders geeignet, um Magnetnadeln für Bussolen oder Stahlstäbe, welche nicht mehr als 4 bis 5 Millimeter dick sind, regelmäßig und vollständig zu magnetisiren.

Fig. 52.



22 **Das Verfahren von Aepinus oder der Doppelstrich** ist anzuwenden, wenn die Stahlstäbe mehr als 4 bis 5 Millimeter dick sind, denn für diese ist die oben beschriebene Methode unzureichend. Der Doppelstrich wird folgendermaßen ausgeführt. Man legt den zu magnetisirenden Stab auf dieselbe Weise zwischen zwei Magnetbündel wie bei Duhamel's Methode und setzt auch die beiden Streichmagnete auf dieselbe Weise in der Mitte auf, nur giebt man ihnen eine noch geneigtere Stellung, so daß sie nur einen Winkel von 15 bis 20 Grad mit der Horizontalen machen. Alsdann streicht man mit ihnen nicht nach den entgegengesetzten Polen, sondern man bewegt beide nach demselben Stabende hin, alsdann zurück den ganzen Stab entlang. Nachdem man sie auf diese Weise zusammen hinlänglich oft über den Magnet hin und her geführt hat, hebt man sie von der Mitte des Stabes wieder ab. Um diese Operationen bequemer zu bewerkstelligen, kann man die beiden Streichmagnete auf einer Art Dreieck von Holz oder Messing befestigen; auf jeden Fall aber muß zwischen den unteren Enden der Streichmagnete ein Zwischenraum von 5 bis 6 Millimetern seyn, den man am besten durch ein Stückchen Holz, Messing oder Blei sichert, welches in unserer Figur durch l bezeichnet ist.

Fig. 53.



Der Doppelstrich giebt einen starken Magnetismus; er darf aber zum

Magnetisiren von Nadeln für Bussolen und Stäbe, welche zu genauen Untersuchungen dienen sollen, nicht angewendet werden, weil er fast immer ungleich starke Pole giebt und leicht Folgepunkte veranlaßt.

Der Sättigungspunkt. Die Quantität des Magnetismus, welche einem 23
Körper mitgetheilt werden kann, hängt stets von der Stärke der Streichmagnete ab, die Quantität des Magnetismus aber, welche ein Körper behält, hat eine Gränze, welche man den Sättigungspunkt nennt. Eine Nadel z. B., welche nur 100 Schwingungen in 100 Sekunden macht, wenn man sie mit schwachen Stäben magnetisirt, wird schon in 90, 80, 70 u. s. w. Sekunden 100 Schwingungen machen, wenn man sie stärker magnetisirt. Wenn man aber sehr stark magnetisirt hat, so kann es kommen, daß gleich nach der Operation die Nadel einen stärkeren Magnetismus zeigt, als später, daß sie also einen Theil ihres Magnetismus wieder verliert. Wenn die magnetische Intensität unter einer gewissen Gränze bleibt, welcher z. B. 100 Schwingungen in 40 Sekunden entsprechen, behält die Nadel ihren Zustand unverändert, d. h. nach Monaten und Jahren macht sie auch noch 100 Schwingungen in 40 Sekunden. Wenn man aber dieser Nadel eine größere Intensität mitgetheilt hätte, so daß sie gleich nach dem Magnetisiren 100 Schwingungen in 30 oder 20 Sekunden gemacht hätte, so würde ihre Stärke rasch bis zu dem Punkte abnehmen, wo sie wieder 100 Schwingungen in 40 Sekunden macht, und diese Gränze ist der Sättigungspunkt. Es ist klar, daß der Sättigungspunkt einer Nadel oder eines Stabes nur von ihrer Coërcitivkraft und nicht von der Stärke der Magnetstäbe abhängt, die man zum Magnetisiren anwendet.

Um zu erkennen, ob eine Nadel bis zum Sättigungspunkte magnetisirt sey, hat man kein anderes Mittel, als sie mit stärkeren Magneten in demselben Sinne von Neuem zu magnetisiren. Wenn sie dadurch bleibend stärker wird, so war sie nicht bis zur Sättigung magnetisirt.

Man könnte vielleicht glauben, daß man durch fortgesetztes Streichen eine Magnetnadel beliebig verstärken könne; aber über eine gewisse Anzahl von Strichen hinaus hilft ein ferneres Streichen nichts mehr, und diese Gränze wird erreicht, wenn der Widerstand der Coërcitivkraft der zersetzenden Kraft des streichenden Magneten gleich ist.

Wenn man eine stark magnetisirte Nadel mit schwachen Magneten streicht, so verliert sie wieder von ihrer Stärke.

Einfluß des Härtens auf die Coërcitivkraft. Den größten Härte- 24
grad giebt man dem Stahle dadurch, daß man ihn hell-rothglühend macht und dann rasch in kaltem Wasser ablöscht. Manchmal löscht man den Stahl auch in Oel, Seifenwasser, Quecksilber u. s. w. ab. Die Verschiedenheit dieser Methoden scheint aber keinen Einfluß auf die Coërcitivkraft des Stahles zu haben.

Das Anlassen des Stahls geschieht dadurch, daß man den glasharten Stahl über Kohlen allmälig erwärmt. Je mehr nun die Hitze steigt, desto mehr verliert sich die ursprüngliche Härte und Sprödigkeit. Bei dem allmäligen Erwärmen nimmt der Stahl auf seiner Oberfläche brillante Farben an, welche, in regelmäßiger Ordnung auf einander folgend, sichtbar werden wie die Tem-

peratur steigt. Zuerst geht die natürliche Metallfarbe in strohgelb über, bei zunehmender Hitze wird sie orange, dunkelorange, violettroth, dann lebhaft blau, worauf ein lebhaftes grünlich blau, die Wasserfarbe, folgt. Die erste dieser Nüancen entspricht ungefähr einer Temperatur von 200°, die letzte, die Wasserfarbe, einer Temperatur von 450°. Bei noch weiterem Erwärmen geht die Farbe in dunkelroth und dann in helles kirschroth über, wobei sich dann bei langsamem Erkalten alle Härte verliert.

Je härter der Stahl ist, desto größer ist seine Coërcitivkraft, desto schwieriger ist es, ihn zu magnetisiren, desto mehr aber ist er auch geeignet, den ihm einmal ertheilten Magnetismus zurückzuhalten. Für harte Stahlstäbe liegt also der Sättigungspunkt höher als bei weicheren.

Um sehr starke Magnetstäbe zu machen, muß man demnach den Stahl möglichst hart nehmen, d. h. nur so weit angelassen, daß er nicht allzu spröde ist. In früheren Zeiten, wo man zum Magnetisiren nur Stahlmagnete anwandte, hatte das Magnetisiren harter Stahlstäbe große Schwierigkeiten, weil die verhältnißmäßig schwachen magnetisirenden Kräfte, die man anwenden konnte, nicht hinreichten, die starke Coërcitivkraft hinlänglich zu überwinden, um eine bedeutende magnetische Vertheilung im Stahlstab zu bewirken; deshalb wählte man früher für Stahlmagnete auch stärker angelassene Stahlstäbe, und zwar meistens bis zum Blau (wie die Uhrfedern) angelassen.

Jetzt liefert uns der Elektromagnetismus Mittel, selbst die härtesten Stahlstäbe bis zu ihrem Sättigungspunkte zu magnetisiren. Die Schwierigkeit, welche bei der Darstellung sehr kräftiger Magnete zu überwinden ist, liegt also gegenwärtig nur noch in der Stahlbereitung, keineswegs in der Magnetisirungsmethode.

Ein Maaß für die Stärke des Magnetismus in einem Stahlstabe liefert uns die Ablenkung, welche er an einer Magnetnadel aus einer gewissen Entfernung hervorzubringen vermag, oder auch die Schwingungsdauer desselben. Häcker in Nürnberg, welchem es gelungen ist, äußerst kräftige Magnetstäbe herzustellen, hat zahlreiche Versuche über die Schwingungsdauer von Stäben angestellt, welche bis zu ihrem Sättigungspunkt magnetisirt sind, und gefunden, daß sie sich nach der empirischen Formel

$$T = c \sqrt[3]{P} \quad \sqrt[6]{L}$$

berechnen läßt, in welcher T die Schwingungsdauer in Sekunden, P das Gewicht in Lothen, und L die Länge der Magnetstäbe in Zollen, c aber einen constanten Factor bezeichnet, welcher von der Stärke des Magnetismus abhängt. Für die von ihm gemachten Magnetstäbe fand er $c = 2{,}67$. Liegt der Sättigungspunkt tiefer, so wird der Factor c größer. Bei später gemachten Magnetstäben brachte Häcker den Factor c bis auf 2,35 herunter.

Diese Formel giebt uns einen Anhaltspunkt, um die Stärke des Magnetismus in einem Stahlstabe zu beurtheilen. Für einen 12 Zoll langen, 11 Loth schweren Magnetstab berechnet man aus obiger Formel für den Factor $c = 2{,}67$

den Werth $T = 8{,}95$ Sekunden. Gesetzt nun, man habe für einen Stab der angegebenen Dimensionen die Schwingungsdauer gleich 12 Sekunden gefunden, so folgt daraus, daß sein Magnetismus noch ziemlich weit von dem von Häcker erreichten Sättigungspunkt entfernt ist.

Man sieht aus obiger Formel, daß die Schwingungsdauer von Magnetstäben, welche bis zum Sättigungspunkt magnetisirt sind, bei gleichen Längen noch von der Masse, also vom Durchmesser abhängt. Je dicker sie sind, desto langsamer schwingen sie. — Wäre in einem dicken Stabe in jedem Punkte der Magnetismus eben so stark entwickelt, als in einem dünnen, so müßte die Schwingungsdauer von den Dimensionen des Querschnitts des Stabes unabhängig seyn. Da nun aber die dicken Stäbe langsamer schwingen, so folgt, daß in einem dünnen Stahlstabe eine verhältnißmäßig weit stärkere Entwickelung des freien Magnetismus möglich ist, als in einem dickeren.

Damit steht nun auch folgende Erscheinung in Zusammenhang. Ein Magnetstab *sn*, Fig. 36, bringt eine bestimmte Ablenkung der Bussolennadel hervor. Wird nun noch ein zweiter, dem ersteren ganz gleicher und gleich magnetischer Stahlstab an's andere Ende des Maaßstabes gelegt, so wird die Ablenkung nahezu verdoppelt (die Tangente des Ablenkungswinkels ist jetzt doppelt so groß, als vorher). Die Wirkung der beiden Magnetstäbe ist hier die zweifache von der eines einzigen.

Legt man aber den zweiten Magnetstab auf den ersten, so daß die gleichnamigen Pole auf einander fallen, daß man also gewissermaßen einen Magnetstab von doppeltem Querschnitt hat, so ist nun die Wirkung der beiden Stäbe zusammen bei weitem nicht doppelt so groß als die eines einzigen.

Der Grund davon ist sehr leicht zu übersehen. Jeder Stab hat, wenn beide mit gleichnamigen Polen auf einander gelegt werden, ein Bestreben, die Polarität des andern umzukehren. Eine solche Umkehrung findet nun freilich nicht Statt, jeder der beiden Stäbe schwächt aber wenigstens den Magnetismus des andern.

Wie sich aber hier die beiden Magnetstäbchen gegen einander verhalten, so verhalten sich in einem Magnetstab zwei nebeneinander liegende Längsstreifen, es ist also klar, daß man einen Stahlstab von größerem Querschnitt nicht bis zu derselben Gränze magnetisiren kann, wie in einem dünneren.

Einfluß der Wärme auf den Magnetismus. Wir haben schon ge- 25
sehen, daß ein natürlicher Magnet sowohl wie ein künstlicher seinen Magnetismus vollständig verliert, wenn man ihn bis zum Weißglühen erhitzt; d. h. nach dem Erkalten bemerkt man an ihm durchaus keine magnetischen Eigenschaften mehr. Diese Beobachtung ist schon von Gilbert gemacht worden. Dadurch verlieren aber die Körper die Eigenschaft nicht, wieder magnetisch zu werden, wenn man man sie durch die bekannten Verfahrungsarten wieder magnetisirt. Ihre Coërcitivkraft ist jedoch geändert; die der natürlichen Magnete nimmt ab, ohne daß man im Stande ist, sie in ihrer ursprünglichen Stärke wieder herzustellen, die der künstlichen Magnete ist ganz zerstört, läßt sich aber durch neues Härten vollkommen wieder herstellen.

Die Wiedervereinigung der getrennten magnetischen Fluida geschieht nicht auf einmal bei der Rothglühhitze, sondern nach und nach in dem Maaße als die Temperatur steigt. Um sich davon zu überzeugen, nehme man einen Magnetstab, dessen Stärke man durch die Oscillationsdauer bestimmt; man erhitze ihn nacheinander bis zu verschiedenen Wärmegraden und lasse ihn jedesmal wieder erkalten. Hat man ihn z. B. bis 100° erwärmt, so wird er nach dem Erkalten langsamer oscilliren als vorher. Erwärmt man ihn dann bis auf 200°, so wird man finden, daß sein Magnetismus wieder abgenommen hat u. s. w.

Kupffer hat bemerkt, daß man einen Magnet längere Zeit einer bestimmten Temperatur aussetzen muß, wenn er allen Magnetismus verlieren soll, den er bei dieser Temperatur überhaupt verlieren kann. Eine Magnetnadel z. B., welche mehrmals nach einander 10 Minuten lang in kochendes Wasser gesteckt wurde, verlor erst nach 6 Eintauchungen ihren Magnetismus, soweit es für diese Temperatur möglich war. Um 200 Schwingungen zu machen, brauchte sie vor dem ersten Eintauchen 578 Sekunden, nach dem ersten Eintauchen 637″, nach dem zweiten 642″, nach dem dritten 645″, nach dem vierten 647″, nach dem fünften 650″, nach dem sechsten 652″ und nach dem siebenten Eintauchen endlich wieder 652 Sekunden.

Ein Magnet, bis zu heller Rothglühhitze erwärmt, verliert seinen Magnetismus so vollständig, daß er sich gegen Eisen, gegen einen andern Magneten ganz indifferent verhält. Ebenso wird auch glühendes Eisen von einem Magnet nicht mehr angezogen. Bei dem Eisen giebt es also eine Temperaturgränze, über welche hinaus es für den Einfluß des Magnetismus unempfänglich ist.

Die Betrachtung dieser magnetischen Gränze führt uns auf den Gedanken, daß es auch für andere Körper eine solche magnetische Gränze geben könne, und in der That hat der Versuch diese Erwartung bestätigt, es hat sich ergeben:

1) daß für Kobalt diese Gränztemperatur noch weit über der Weißglühhitze liegen müsse, denn in den höchsten Temperaturen, welchen man das Kobalt aussetzte, fand man es noch magnetisch;

2) daß die magnetische Gränze des Chroms etwas unter der Temperatur des Dunkelrothglühens liege;

3) daß die magnetische Gränze des Nickels ungefähr bei 350°, d. h. in der Nähe des Schmelzpunktes des Zinks liegt;

4) daß die magnetische Gränze des Braunsteins 20 bis 25° über Null liegt.

26 **Einfluß des Lichtes auf den Magnetismus.** Morichini war der Erste, welcher behauptete, daß die violetten Strahlen und diejenigen, welche dem violetten Ende des Spectrums nahe liegen, im Stande sind, Stahlnadeln magnetisch zu machen. Viele, welche den Versuch machten, fanden Morichini's Behauptung nicht bestätigt, doch ist jetzt die erwähnte Fähigkeit des violetten Lichts, Stahlnadeln zu magnetisiren, durch Lady Sommerville außer

Zweifel gesetzt. Wenn der Versuch gelingen soll, so darf man nicht die ganze Nadel der Wirkung der violetten Strahlen des prismatischen Bildes aussetzen, sondern nur diejenige Hälfte, welche zum Nordpol werden soll, zu welchem Zwecke man die andere Hälfte mit Papier verdeckt. Bei dieser Vorsicht werden die Nadeln in einigen Stunden magnetisch.

Die blauen und grünen Strahlen des Spectrums bringen dieselbe Wirkung hervor, wie die violetten, nur in geringerem Grade; die gelben, orangefarbigen und rothen sind wirkungslos, selbst bei dreitägiger Fortsetzung der Versuche.

Auch Nadeln, welche halbbedeckt unter ein mit Kobalt blau oder grün gefärbtes Glas gelegt und dann der Einwirkung des Sonnenlichts ausgesetzt wurden, erhielten magnetische Eigenschaften. Dieselbe Wirkung erhält man, wenn man eine Nadel zur Hälfte mit einem grünen oder blauen Bande umwickelt dem Tageslichte aussetzt.

Natürliche und künstliche Magnete. Wir haben schon gesehen, daß 27
man diejenigen Substanzen natürliche Magnete nennt, welche im magnetischen Zustande aus dem Schooße der Erde hervorgeholt werden, künstliche Magnete hingegen die, in welchem man durch irgend eine der angeführten Verfahrungsarten den Magnetismus fixirt. Nachdem wir gesehen haben, wie man Magnete macht, bleibt nur noch übrig zu zeigen, wie man ihre Kraft erhalten kann und wie man sie verbinden muß, um ihre Wirkung zu vermehren.

Man kann einen magnetischen Stab in eine solche Lage bringen, daß der Erdmagnetismus ein Bestreben hat, eine theilweise Vereinigung der getrennten Flüssigkeiten zu bewirken. Wenn man z. B. in unseren Gegenden einen Magnetstab in vertikaler Stellung so hält, daß sein Südende nach unten gekehrt ist, so wird er geschwächt werden, und wenn man ihm in dieser Stellung mehrere Schläge mit dem Hammer gäbe, so würde er nach einiger Zeit ganz schwach, ja endlich sogar seine Pole ganz umgekehrt werden. Um dies zu verhindern, wendet man Armaturen an. Armaturen heißen Stücke von weichem Eisen, welche man mit dem Magnet in Berührung bringt, um sie selbst durch die im weichen Eisen hervorgebrachte magnetische Zersetzung in Thätigkeit zu erhalten. Um Magnetstäbe zu armiren, verfährt man am besten so, wie man aus Fig. 54 sieht. Man legt zwei gleiche Magnetstäbe parallel so neben einander, daß immer der Nordpol des einen nach derselben Seite gerichtet ist wie der Südpol des andern, und fügt dann zwei Stücke von weichem Eisen *a b* und *c d* so an, daß dadurch das Rechteck geschlossen wird. Jedes dieser Eisenstücke wird nun natürlich selbst ein Magnet, der auf die Magnetstäbe *N S* und *N' S'* in der Weise zurückwirkt, daß dadurch die getrennten Flüssigkeiten an den entsprechenden Enden fixirt werden.

Fig. 54.

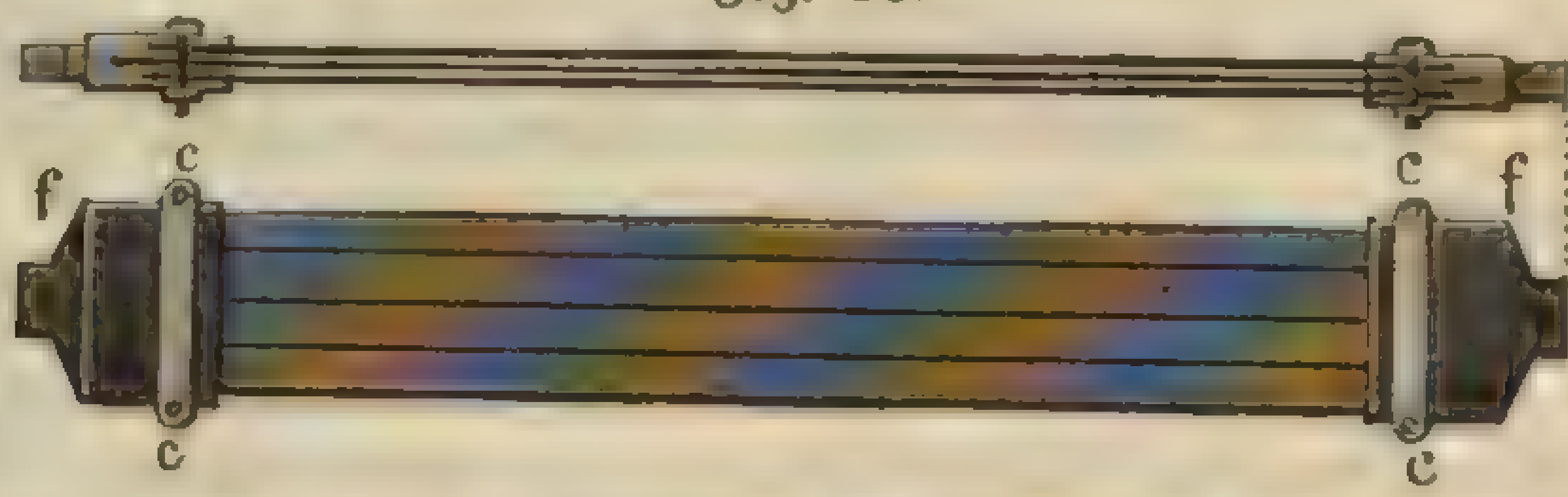


Magnetnadeln und Magnetstäbe, welche durch den Erdmagnetismus gerichtet sind, sind gewissermaßen durch die Erde armirt.

Ein magnetisches Magazin ist eine Verbindung von mehreren einzelnen Magnetstäben. Fig. 53 a. f. S. zeigt ein solches nach Coulomb's Methode construir-

tes. Es besteht aus 12 einzelnen Magnetstäben, die 3 Schichten, jede von 4

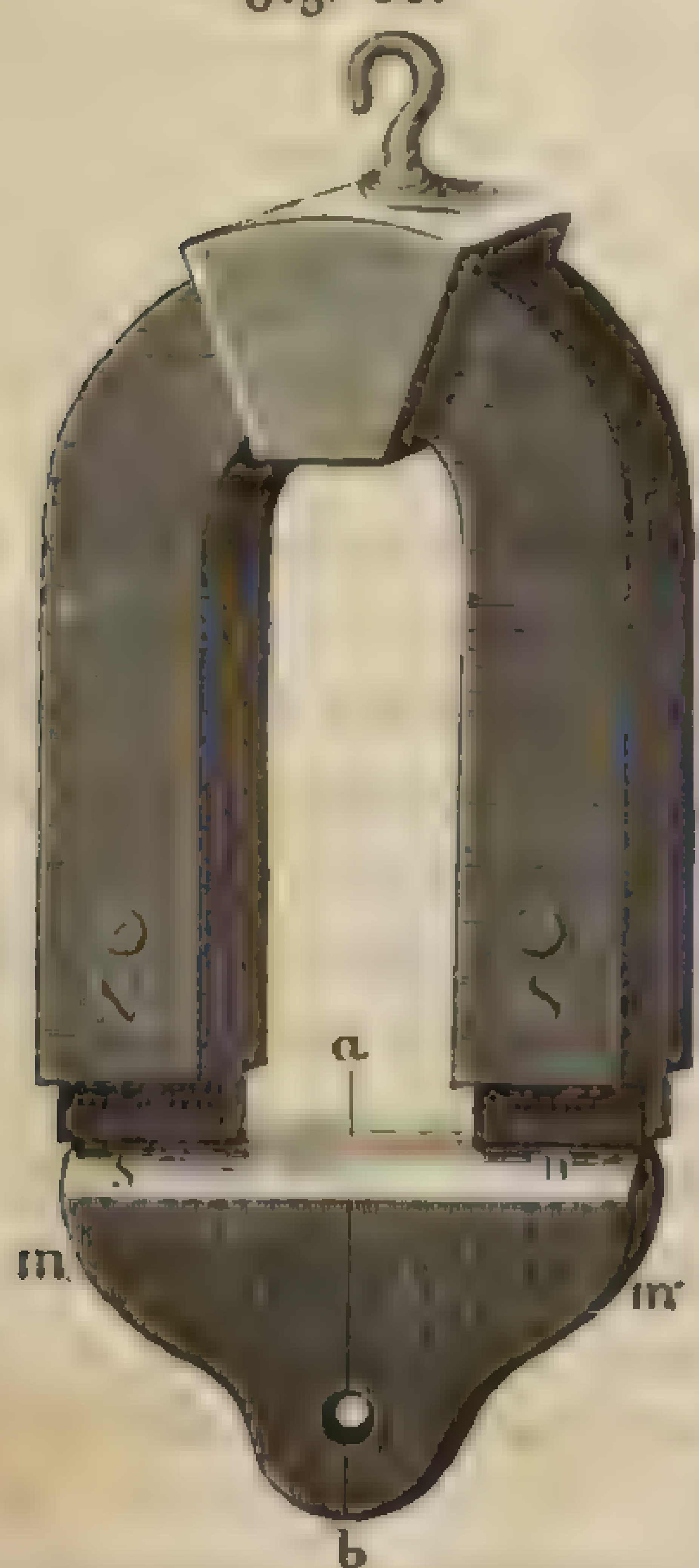
Fig. 55.



Stäben, bilden. Die Stäbe der mittleren Schicht sind um $2^1/_2$ bis 3 Zoll länger als die der oberen und unteren, so daß sie ungefähr 15 bis 18 Linien auf jeder Seite vorstehen. Alle Stäbe haben übrigens vollkommen gleiche Dimensionen und sind in Eisenstücken *f* befestigt, die als Armatur dienen. Die Messingbänder *c c'* dienen dazu, die Stäbe und Armatur gehörig fest zusammenzuhalten. Solche große Magnetbündel bleiben fest liegen, wenn man sich ihrer zum Magnetisiren bedient. Die kleineren, die man zum Streichen gebraucht, sind nach demselben Principe construirt.

Um eine starke Tragkraft zu erreichen, muß man dafür sorgen, daß beide Pole gleichzeitig zur Wirkung kommen, was dadurch geschieht, daß man dem Magneten eine Uförmige Gestalt giebt. Fig. 56 stellt einen solchen Magneten dar. Er besteht aus mehreren hufeisenförmig gebogenen Stahlplatten, welche unmittelbar auf einander gelegt werden. Zwei Schrauben von Eisen oder Messing halten sie zusammen. Jede Platte wird vor dem Zusammensetzen für sich magnetisirt. Der mittlere Theil steckt in einer Hülse von Holz oder Messing, welche mit einem Haken oder einem Ringe zum Aufhängen versehen ist.

Fig. 56.



Ein Stück weiches Eisen *m m'* bildet die Armatur, welche hier der **Anker** heißt, an welchen auch das zu tragende Gewicht angehängt wird. Die Form des Ankers ist nicht gleichgültig. Am besten giebt man ihnen die in der Figur angegebene Gestalt. Die Berührungsfläche, mit welcher der Anker die Polflächen berührt, darf nicht zu breit seyn, weshalb man den Anker oben noch etwas schmäler macht als die Platte ist, aus der er genommen wurde. Man macht die Bahn des Ankers je nach der Größe der Magnete $^1/_2$ bis 2 Linien breit. Daß bei breiteren Berührungsflächen die Tragkraft geringer wird, rührt wahrscheinlich daher, daß in diesem Falle die Berührung zwischen dem Anker und den Polen nicht leicht so vollständig hergestellt werden kann als bei schmälerer Bahn.

Denken wir uns den Anker durch einen Messingstreifen von 1 bis 2 Linien Breite in der Richtung der Linie *ab*, Fig. 56, in zwei gleiche Theile getheilt, so wird jeder Pol des Magneten nur auf die eine Hälfte des Ankers magnetisirend wirken können. Die Tragkraft, welche der Magnet unter diesen Umständen zeigt, ist die Summe der Tragkräfte der beiden einzelnen Pole. Findet aber eine solche Theilung des Ankers nicht Statt, besteht er ganz aus weichem Eisen, so pflanzt sich die magnetisirende Wirkung jedes der beiden Magnetpole durch die ganze Masse des Ankers fort. Der Pol S begünstigt die Bildung eines Südpols in s, N unterstützt die Bildung eines Nordpols in n, die magnetische Polarität in n und in s wird also ungleich kräftiger seyn, als wenn sie nur von dem benachbarten Pole des Magnets ausgegangen wäre. Daher kommt es denn auch, daß die Tragkraft eines gehörig mit einem Anker armirten Magneten die doppelte Tragkraft des einzelnen Poles bei weitem übertrifft.

Wie man nach den im vorigen Paragraphen gemachten Bemerkungen nicht anders erwarten kann, wächst die Tragkraft der Stahlmagnete keineswegs in gleichem Verhältniß wie ihre Masse.

Ein Hufeisenmagnet, aus einer einzigen Lamelle bestehend, trage 10 Pfund. Eine zweite ganz gleiche Lamelle habe dieselbe Tragkraft. Werden nun beide Lamellen zu einem einzigen Magneten vereinigt, so ist die Tragkraft desselben bei weitem geringer als 20 Pfund.

Wenn man eine Stahllamelle magnetisirt, während der Anker vorgelegt ist, so kann man ihren Magnetismus weit über den Sättigungspunkt hinaustreiben und eine sehr bedeutende Tragkraft erzielen. Sobald aber der Anker abgerissen wird, sinkt der Magnetismus wieder auf den Sättigungspunkt zurück und der Magnet trägt jetzt bei weitem nicht mehr so viel als vor dem Abreißen. Unter constanter Tragkraft eines Magneten versteht man diejenige, welche ihm nach mehrmaligem Abreißen des Ankers noch bleibt. Durch Stoßen, Fallenlassen u. s. w. kann freilich auch die constante Tragkraft eines Magneten noch bedeutend geschwächt werden.

Nach Häcker's Versuchen besteht zwischen Masse und Tragkraft der Magnete die Relation

$$M = a\sqrt[3]{P^2},$$

wenn M die Tragkraft, P das Gewicht des Magneten, a aber einen constanten Factor bezeichnet. Für seine ausgezeichneten Stahlmagnete ergab sich für a der Werth 12,6, wenn P und M in Pfunden ausgedrückt sind. Nach dieser Formel ergeben sich folgende zusammengehörige Werthe von Gewicht und Tragkraft der Häcker'schen Hufeisenmagnete:

Gewicht.	Tragkraft.	
4 Loth	3 Pfund	4 Loth
16 »	7 »	28 »
1 Pfund	12 »	17 »
4 »	31 »	19 »
20 »	92 »	12 »
100 »	270 »	—
1000 »	1253 »	24 »
1972	1972	

Während also ein Magnet von 4 Loth das 25fache seines Gewichts trägt, kann ein 100pfündiger nicht einmal das Dreifache seiner Last tragen. Ueber 1972 Pfund hinaus wäre demnach die Tragkraft der Magnete sogar geringer als ihr Gewicht.

Logeman und Wetteren in Harlem haben es in der Darstellung von Stahlmagneten so weit gebracht, daß ein 1pfündiger, aus einer Lamelle bestehender Hufeisenmagnet 25 bis 26 Pfund trägt, der Factor a müßte also für ihre Magnete ungefähr doppelt so groß angenommen werden als oben angegeben wurde.

Fig. 57.

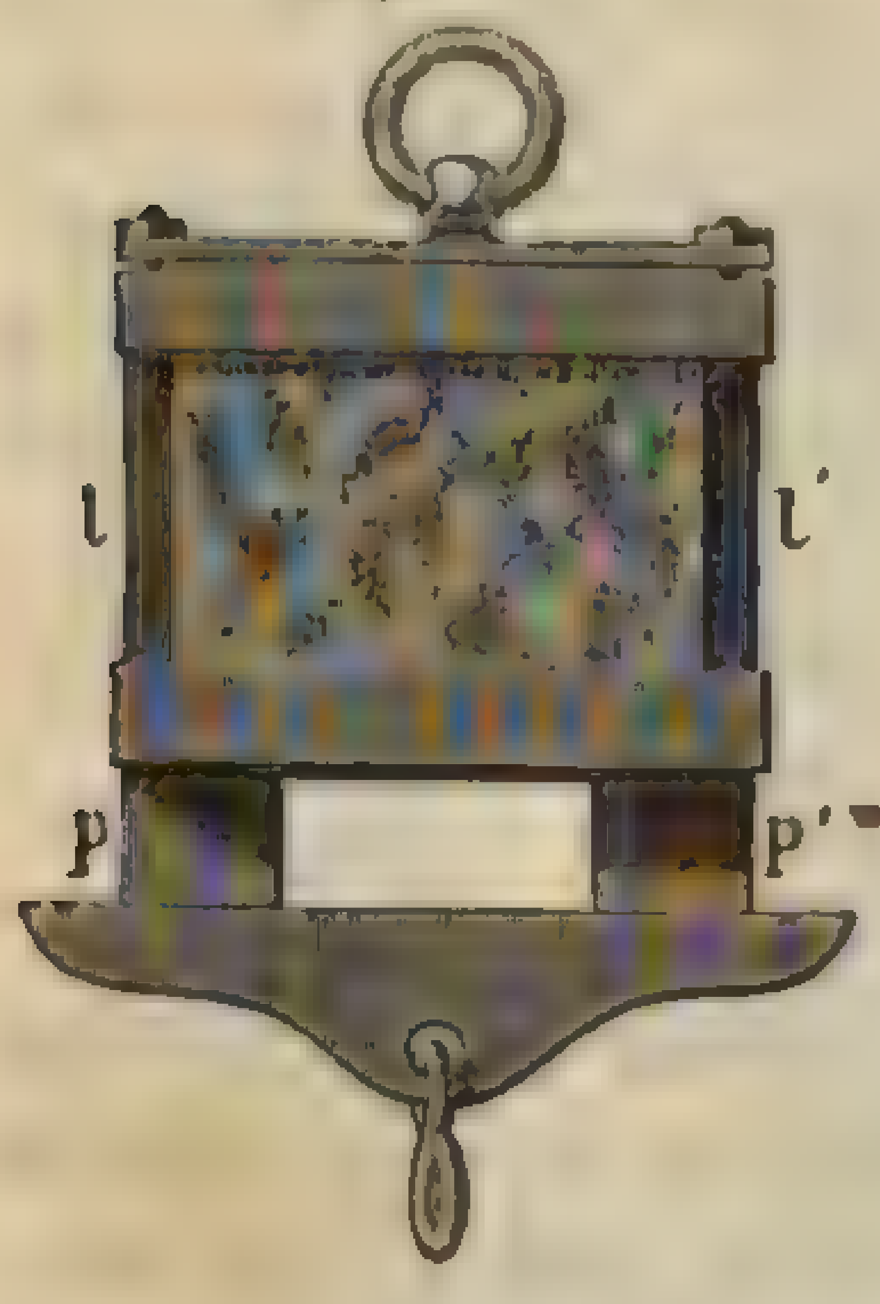


Fig. 58.



Die Armatur der natürlichen Magnete ist Fig. 57 und 58 dargestellt. Die Theile l und l' sind die Flügel der Armatur, pp' die Füße. Man macht die Flügel fast so breit wie den Magnet und ungefähr eine Linie dick. Die Dimensionen der Füße hängen von der Stärke des Magneten ab.

Bei natürlichen Magneten sowohl wie bei künstlichen kann man die Tragkraft allmälig dadurch vergrößern, daß man nach und nach das angehängte Gewicht vermehrt. Beim Abreißen des Ankers tritt aber dann sogleich wieder eine bedeutende Schwächung des Magneten ein.

Zweite Abtheilung.

Von der Elektricität.

Erstes Kapitel.

Von den elektrischen Wirkungen.

**Es giebt Körper, welche durch Reiben die Eigenschaft erlangen, 28
leichte Körper anzuziehen.** Man kann sich leicht überzeugen, daß die Körper in ihrem gewöhnlichen Zustande durchaus die Eigenschaft nicht haben, leichte Körper, wie Goldflitter, Sägespähne, Papierschnitzel, Kügelchen von Hollundermark u. s. w. anzuziehen. Wenn man aber mit Wollen- oder Seidenzeug einen Glasstab, eine Stange Schwefel oder Siegellack, ein Stück Bernstein u. s. w. reibt, so erlangen diese Körper sogleich jene merkwürdige Eigenschaft. Die anziehende Kraft ist so groß, daß schon in einer Entfernung von mehr als einem Fuß leichte Körper zu dem anziehenden aufgezogen werden (Fig. 59.) Die Ursache dieses Phänomens nennt man Elektricität nach dem griechischen Worte ἤλεκτρον, welches Bernstein bedeutet, an welchem die griechischen Philosophen zuerst diese merkwürdige Eigenschaft beobachtet hatten.

Um mit Sicherheit entscheiden zu können, ob ein Körper durch Reiben elektrisch wird oder nicht, wendet man Apparate an, welche Elektroskope genannt werden.

Fig. 59.



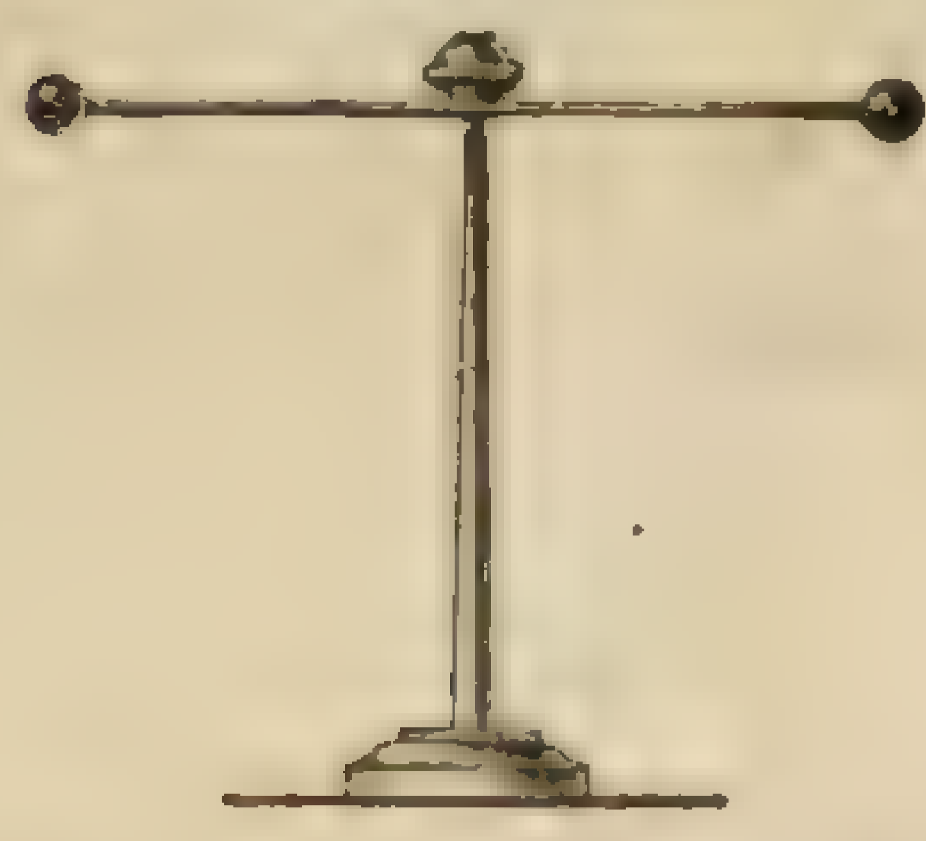
Fig. 60.



Das einfachste Elektroskop ist das elektrische Pendel (Fig. 60). Es besteht aus einer kleinen Kugel von Hollundermark, welche an einem feinen leinenen Faden aufgehängt ist. Wenn man einen Körper prüfen will, so nähert man ihn dem Kügelchen; wird es angezogen, so ist der Körper elektrisch, wird es aber nicht angezogen, so ist er entweder nicht elektrisch, oder seine Elektricität ist doch zu schwach, um hier eine Wirkung hervorzubringen.

Die elektrische Nadel (Fig. 61) ist eben so empfindlich als das elektrische Pendel. Sie besteht aus einem Messingdrahte, welcher in zwei metallischen Kugeln endigt. In der Mitte des Drahtes befindet sich ein Stahl- und Achathütchen, welches auf einer feinen Spitze ruht. Eine geringe elektrische Kraft reicht schon hin, die Nadel in Bewegung zu setzen.

Fig 61.



Mit Hülfe dieser Apparate kann man untersuchen, in wiefern die verschiedenen Körper durch Reiben elektrisch werden oder nicht. Man findet, daß alle Harze, Bernstein, Schwefel, Glas u. s. w. durch Reiben stark elektrisch werden; Edelsteine, Holz, Kohle geben selten einige Spuren von Anziehung; Metalle endlich scheinen auf den ersten Anblick durch Reiben gar nicht elektrisch gemacht werden zu können, denn man mag einen Metallstab, den man in den Händen hält, noch so stark reiben, man erhält an allen diesen Apparaten auch nicht die mindesten Spuren von Anziehung. Man theilte danach alle Körper in zwei große Klassen, in solche, welche durch Reiben elektrisch werden, und solche, welche diese Eigenschaft nicht haben. Erstere nannte man idioelektrische, letztere anelektrische Körper.

Diese Eintheilung beruht jedoch auf einer irrigen Meinung, denn man hat gefunden, daß alle Körper, selbst Metalle, durch Reiben elektrisch gemacht werden können, und wenn man bei vielen durch Reiben keine Spur von Elektricität erhalten kann, so liegt die Ursache davon in anderen Umständen, die wir bald näher werden kennen lernen.

29 **Leiter und Nichtleiter.** Man war früher der Meinnng, daß die Körper, welche man mit dem Namen der anelektrischen bezeichnet hatte, auf keinerlei Weise in den elektrischen Zustand versetzt werden könnten. Ein englischer Physiker, Gray, machte im Jahre 1727 Versuche mit einer an beiden Enden offenen Glasröhre. Er wollte sehen, ob sie auch elektrisch würde, wenn sie an beiden Enden mit Korkstopfen verschlossen war; in jener Epoche war nämlich die Wissenschaft noch so wenig vorgeschritten, daß man eben in den Tag hinein experimentirte, weil man noch keine Ansicht, noch keine Theorie hatte, welche den Gang der Versuche hätte leiten können. Zu seinem größten Erstaunen fand nun Gray, daß die Stopfen selbst elektrisch geworden waren, obgleich der Kork in die Klasse der anelektrischen Körper gehört. Ein in den Kork gesteckter Metalldraht wurde auch elektrisch, so lang er auch seyn mochte; ja er begab sich mit seiner elektrischen Röhre in das erste, zweite, dritte Stockwerk seines Hauses und ließ den Metalldraht bis auf den Boden herabhängen. Er rieb die Glasröhre, einer seiner Freunde näherte dem untern Ende des Drahtes leichte Körperchen, und siehe, sie wurden angezogen. Es folgte daraus, daß die Metalle die Eigenschaft haben, den elektrischen Zustand anzunehmen und fortzupflanzen. Dieselbe Eigenschaft haben aber alle anelektrischen Körper, man

nannte sie deshalb *Leiter* der Elektricität. Die idioelektrischen Körper dagegen sind keine Leiter; denn wenn man z. B. einen Glasstab durch Reiben an einem Ende elektrisch macht, so zeigt das andere Ende keine Spur von Anziehung.

Man kann diese Fundamentalwahrheit sehr gut mit Hülfe der Elektrisirmaschine nachweisen, welche wir, ohne noch ihre Einrichtung zu kennen, doch vor der Hand schon als Mittel anwenden können, um Elektricität zu entwickeln. Der Conductor der Maschine ist ein metallischer Körper, welcher elektrisch gemacht wird. Wenn man mit dem in den elektrischen Zustand versetzten Conductor einen langen an Seidenschnüren aufgehängten Metalldraht, oder bequemer einen cylindrischen Metallkörper, der auf einem Glasfuße steht, in Verbindung bringt, so wird das Metall seiner ganzen Ausdehnung nach elektrisch; sobald man es aber durch irgend einen guten Leiter mit dem Boden in Verbindung setzt, verschwindet alle Elektricität augenblicklich.

Es geht daraus auch hervor, daß die Seidenfäden, der Glasstab, Nichtleiter der Elektricität, daß sie *Isolatoren* sind. Ein Leiter der Elektricität kann also nur so lange elektrisch bleiben, als er *isolirt*, d. h. von lauter Nichtleitern umgeben ist. Auch die Luft ist ein Isolator, denn sonst würde die Elektricität von dem Metalle augenblicklich durch die Luft abgeführt werden.

Wasser und Wasserdampf sind gute Leiter, deshalb verliert sich die Elektricität, welche auf einem isolirten Leiter bei trockener Luft lange haftet, sehr schnell, wenn die Luft feucht ist.

Auch der menschliche Körper ist ein guter Leiter. Wenn man, auf dem Boden stehend, den Conductor der Elektrisirmaschine anfaßt, so wird alle Elektricität, welche durch das Drehen derselben erzeugt wird, sogleich abgeführt, wenn man aber auf einem schlechten Leiter, etwa auf einem Harzkuchen, steht, so wird der ganze Körper elektrisch. Man sieht jetzt auch ein, warum eine Metallstange, die man in der Hand hält, durch Reiben nicht elektrisch wird; alle Elektricität nämlich, welche man durch das Reiben erzeugt, wird sogleich durch den menschlichen Körper wieder abgeführt.

Die besten Isolatoren werden Leiter, wenn sich Wasserdampf auf ihnen niederschlägt. Es ist deshalb für den Erfolg elektrischer Versuche von der größten Wichtigkeit, Glasfüße, Harzstangen u. s. w., welche einen Leiter isoliren sollen, durch Erwärmen und Reiben gehörig trocken zu machen.

Statt die Körper in Leiter und Nichtleiter einzutheilen, müßte man sie, um genauer zu reden, gute oder schlechte Leiter nennen, denn absolute Nichtleiter giebt es nicht. Schellack, überhaupt Harze, Seide und Glas sind die schlechtesten Leiter, die es giebt; die Metalle hingegen sind die besten Leiter.

Von den beiden Arten der Elektricität. Nehmen wir ein einfaches 30
elektrisches Pendel (Fig. 62 f. S.) zur Hand, dessen Kügelchen an einem *Seidenfaden* aufgehängt ist. Wenn man eine geriebene Glas- oder Schellackstange nähert, so wird das Hollundermarkkügelchen angezogen, es berührt die Stange, bleibt aber nur einige Augenblicke daran haften, um alsbald *abgestoßen* zu werden. Diese Repulsion rührt von der Elektricität her, welche

welche dem Kügelchen durch die Berührung mit der Stange mitgetheilt worden ist, denn wenn man es mit der Hand berührt und es dadurch wieder auf seinen natürlichen Zustand zurückführt, wird es von Neuem angezogen und nach der Berührung abermals abgestoßen. Daß das abgestoßene Kügelchen wirklich elektrisch ist, geht auch daraus hervor, daß es selbst von Körpern, die sich im natürlichen Zustande befinden (man muß jedoch zu diesem Versuche Leiter wählen), angezogen wird.

Fig. 62.

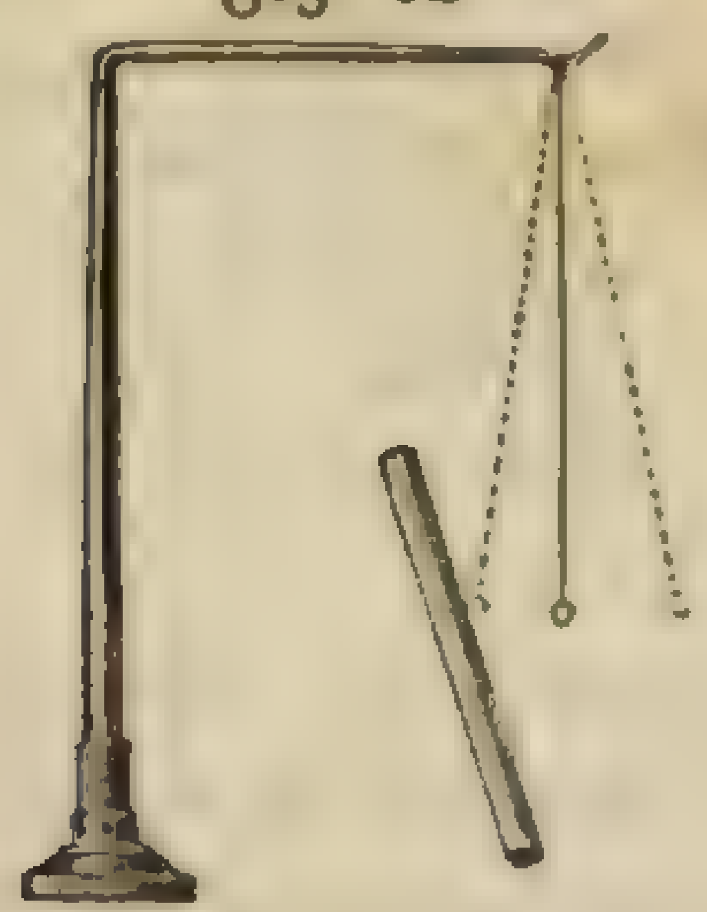
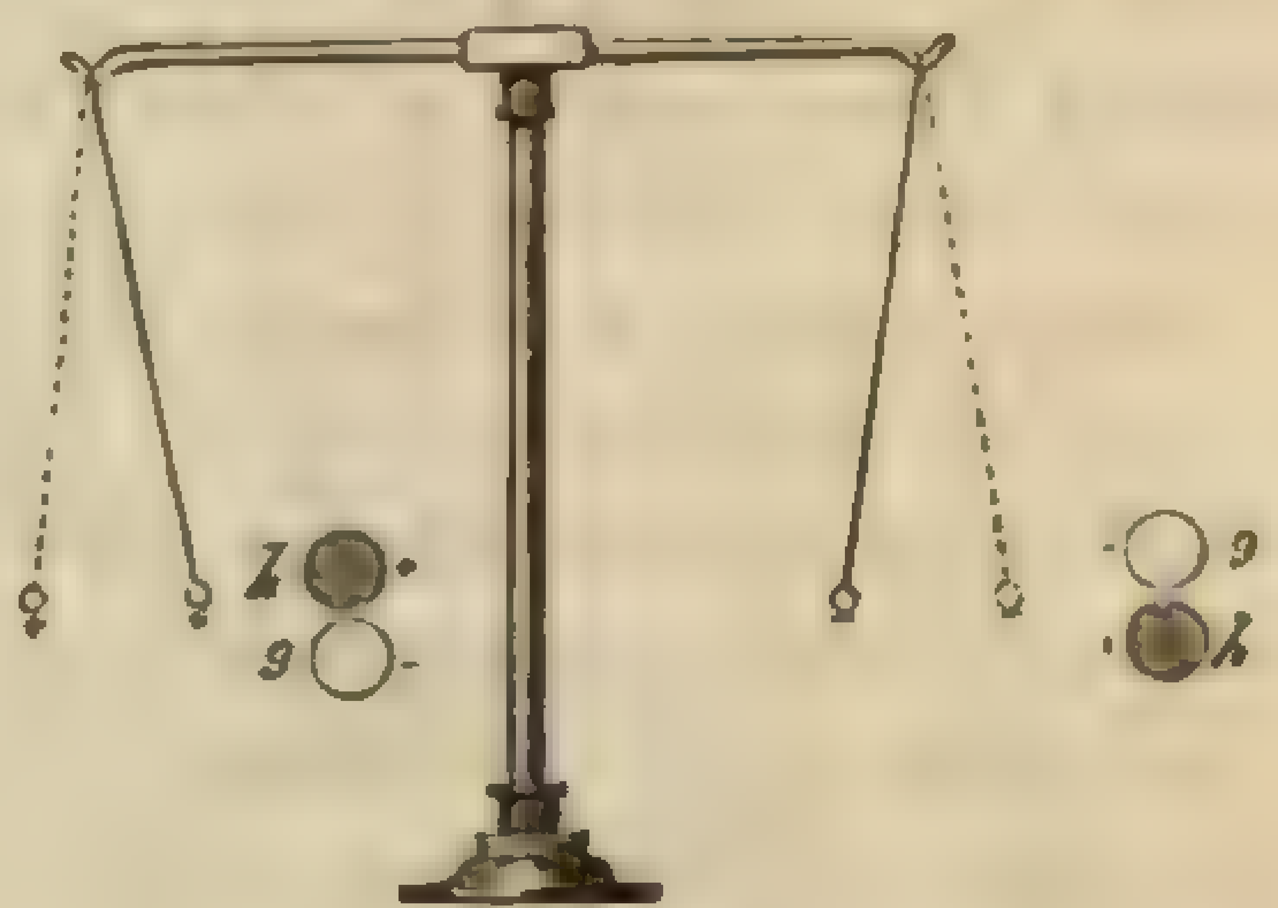


Fig. 63.



Wenn man zwei isolirte Pendel nimmt, von denen das eine durch Berührung mit einer Glasstange, die mit Seide gerieben worden war, das andere durch eine mit Pelz geriebene Schellackstange elektrisch gemacht worden ist, so beobachtet man folgende merkwürdige Erscheinung. Das eine Kügelchen, welches durch die Glasstange abgestoßen wird, wird durch die Schellackstange angezogen, das vom Schellack abgestoßene aber wird durch das Glas angezogen. Die Elektricität des geriebenen Glases ist also nicht identisch mit der des Harzes, weil jede das anzieht, was die andere abstößt.

Die beiden Elektricitäten hat man mit den Namen der Glaselektricität und der Harzelektricität bezeichnet. Die Glaselektricität wird auch die positive, die Harzelektricität die negative genannt. Die Entdeckung der beiden verschiedenen Elektricitäten wurde von Dufay im Jahre 1773 gemacht.

Daß sich gleichnamige Elektricitäten abstoßen, ungleichnamige aber anziehen, läßt sich auf folgende von Frick angegebene Weise darthun:

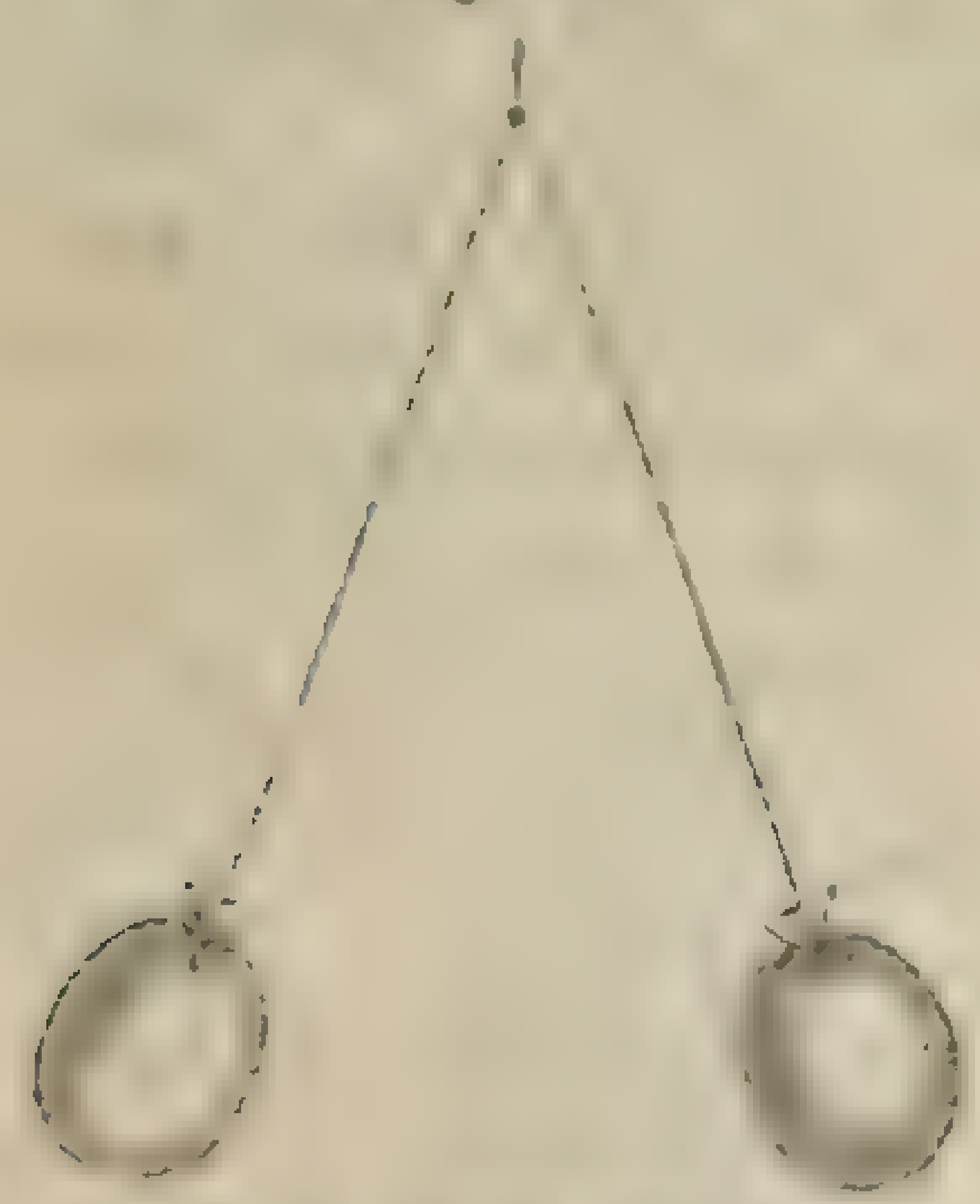
Ein ganz dünner Metalldraht oder auch ein ungedrehter Seidenfaden von 1 bis 2 Fuß Länge, trägt unten eine ungefähr 1 Zoll lange hölzerne Hülse, Fig. 64, in welche man einen Glas- oder Harzstab *b d* einschieben kann. Ein solcher Stab, in der Hülse liegend, kann sich natürlich nur in horizontaler Ebene um die vertikale Axe des Fadens drehen. — Wird nun ein durch Reiben positiv elektrisch gemachter Glasstab in die Hülse eingelegt, so wird derselbe von einem zweiten ihm genäherten, auf dieselbe Weise geriebenen Glasstab abgestoßen, während eine geriebene Harz-

Fig. 64.



stange den in der Hülse liegenden in horizontaler Ebene leicht drehbaren Glasstab anzieht. — Liegt ein negativ elektrischer Harzstab in der Hülse, so wird er von einem geriebenen Harzstab abgestoßen, von einem Glasstab aber angezogen.

Fig. 65.



Am schönsten läßt sich die Abstoßung gleichartig elektrischer Körper mit zwei Collodiumballons zeigen, welche möglichst leicht sind und 2 bis $2\frac{1}{2}$ Zoll im Durchmesser haben. Man hängt sie an dünnen Seidenfäden neben einander auf und streicht jeden ein- oder zweimal durch die trockene Hand; sie werden dadurch schon so stark elektrisch, daß sie sich kräftig abstoßen und divergiren wie Fig. 65 zeigt.

Von den elektrischen Flüssigkeiten und dem natürlichen Zustande der Körper. 31 Wegen der Schnelligkeit, mit welcher sich die Elektricität in den Leitern verbreitet, hat man geschlossen, daß sie eine äußerst bewegliche Flüssigkeit sey, und aus dem Gegensatze der Glas- und Harzelektricität schloß man ferner, daß es zwei solcher Flüssigkeiten gebe, wie es zwei magnetische Fluida giebt. Wenn diese beiden Flüssigkeiten in einem Körper verbunden sind, wenn sie sich in demselben gegenseitig neutralisiren, so ist er in seinem natürlichen Zustande. Wenn in einem Körper aber die beiden E zersetzt werden, so wird er elektrisch, und zwar positiv, wenn die Glaselektricität, negativ wenn die Harzelektricität vorherrscht. Zwischen den elektrischen und magnetischen Flüssigkeiten findet jedoch ein wesentlicher Unterschied Statt; diese ist in den magnetischen Partikeln gleichsam eingeschlossen, sie kann aus denselben nicht heraustreten, während die elektrischen Fluida frei von einem Körper zum andern übergehen können.

Wenn durch Reiben in einem Körper $+E$ frei gemacht wird, so muß in gleichem Maaße auch $-E$ entwickelt werden. Man kann dies durch einen einfachen Versuch nachweisen. Wenn man irgend zwei Scheiben von verschiedenen Substanzen, Fig. 66, deren jede durch einen Glasstab isolirt ist, an einander reibt, so zeigen sie, so lange sie auf einander liegen, keine Spur von Elektricität; sobald man sie aber trennt, ist die eine positiv, die andere negativ elektrisch. Besonders geeignet für diesen Versuch ist es, wenn die eine Scheibe von Glas, die andere aber etwa von Holz und mit einer Lederscheibe überzogen ist, die man mit etwas Amalgam bestrichen hat. Nachdem die Scheiben an einander gerieben worden sind, zieht die Glasscheibe einen an einem Seidenfaden hängenden negativ elektrischen Collodiumballon an, während die amalgamirte Lederscheibe ihn abstößt. Man kann aber auch Scheiben von jeder andern Substanz, Harz, Metall u. s. w. nehmen,

Fig. 66.



und um die Versuche mehr abzuändern, dieselben mit verschiedenen Stoffen, Tuch, Seide, Papier u. s. w. überziehen.

Da ein Körper in seinem natürlichen Zustande die beiden E in gleichem Maaße enthält, so giebt es keinen Grund, anzunehmen, daß er besonders geeignet sey, vorzugsweise die eine aufzunehmen und zurückzuhalten, er kann also auch durch Reiben bald +, bald — elektrisch werden, je nachdem man ein anderes Reibzeug wählt. Glas z. B. wird, mit Wolle oder Seide gerieben, positiv, mit einem Katzenpelz gerieben, negativ elektrisch. Um die Elektricitätsart genau zu bezeichnen, muß man also sagen: die $+E$ ist diejenige, welche das Glas durch Reiben mit Wolle oder Seide annimmt, die $-E$ hingegen diejenige, welche das Harz annimmt, wenn man es mit einem Katzenfelle, mit Wolle oder Seide reibt.

Nehmen wir an, man habe eine Liste verschiedener Körper in der Weise aufgestellt, daß jeder vorangehende, mit allen folgenden gerieben, + elektrisch wird, so wird man bald bemerken, daß die geringste Veränderung der Umstände diese Reihenfolge ändert. Eine Veränderung der Temperatur z. B. kann machen, daß ein Körper in dieser Reihe mehr hinauf oder herunter zu rücken ist. Dieselbe Wirkung hat es oft, wenn man einen Körper mehr polirt oder seine Oberfläche rauher macht. Die Farbe, die Anordnung der Moleküle oder der Fasern, selbst ein mehr oder weniger starker Druck kann analoge Erscheinungen hervorbringen. Ein schwarzes seidenes Band z. B. wird, mit einem weißen seidenen Bande gerieben, immer negativ elektrisch. Selbst wenn man zwei Stücke desselben Bandes kreuzweise reibt, so wird dasjenige, welches festgehalten ist, positiv, das andere negativ elektrisch. Wenn man eine polirte Glasscheibe auf einer mattgeschliffenen reibt, so werden sie ebenfalls entgegengesetzt elektrisch u. s. w.

32 **Mittheilung der Elektricität.** Die freie Elektricität kann sowohl bei unmittelbarer Berührung, als auch auf größere Entfernungen hin von einem Körper zum andern übergehen, immer hängt aber die Mittheilung von der Leitfähigkeit der Körper und der Größe ihrer Oberfläche ab.

Bei der Berührung mit einem elektrisirten Körper nehmen schlechte Leiter die Elektricität nur unmittelbar an der berührenden Stelle auf, sie verbreitet sich nicht über ihre ganze Ausdehnung. Ebenso verliert ein elektrisirter Isolator an einer Stelle berührt, nur unmittelbar hier etwas Elektricität, die ganze nicht berührte Oberfläche bleibt nach wie vor elektrisch. Es läßt sich dies sehr leicht mit einer geriebenen Glas= oder Siegellackstange zeigen. Bei guten Leitern verhält sich die Sache ganz anders. An einem Punkte, mit einem elektrischen Körper berührt, verbreitet sich die übergegangene Elektricität über den ganzen Leiter, und wenn man einen isolirten elektrisirten Leiter mit dem Boden in leitende Verbindung bringt, so verliert er augenblicklich alle seine Elektricität.

Auch ohne unmittelbare Berührung kann die Elektricität von einem Körper zum andern übergehen, und man beobachtet dabei das merkwürdige Phänomen des elektrischen Funkens. Wenn man einem geriebenen Glas= oder Schellackstab einen Metallstab oder den Knöchel eines Fingers nähert, so

sieht man einen lebhaft glänzenden Funken überspringen und hört dabei ein knisterndes Geräusch. Sehr stark erhält man diese knisternden Funken, wenn man einen Bogen Papier, der auf einer warmen, wo möglich metallischen Unterlage liegt, mit Wollentuch peitscht und dann aufhebt; auf 1 bis 2 Zoll weit springen alsdann vom Papier die Funken auf den genäherten Finger über. Wenn der elektrisirte Körper metallisch und von bedeutender Oberfläche ist, wie der Conductor der Elektrisirmaschine, so werden die Funken stärker, sie springen unter Umständen schon in einer Entfernung von 1 bis 4 Fuß über; ihr Licht ist dann blendend hell, und das Geräusch, welches sie begleitet, sehr stark.

Otto von Guericke, der Erfinder der Luftpumpe, hat zuerst den elektrischen Funken beobachtet. Später zeigte Dufay zur allgemeinen Verwunderung, daß man selbst aus dem menschlicheu Körper, wie aus dem Conductor der Maschine, Funken entlocken könne.

Um diesen Versuch zu machen, stellt man sich auf einen Harzkuchen oder auf einen mit Glasfüßen versehenen Schemel (Isolirschemel) und bringt den Körper mit dem Conductor der Maschine in leitende Verbindung. Wenn die Maschine gedreht wird, gewahrt man auf der Haut, namentlich im Gesichte, ein eigenthümliches Gefühl, ungefähr wie wenn man in Spinngewebe gerathen wäre. Die Haare auf dem Kopfe sträuben sich. Wenn sich dem so elektrisirten menschlichen Körper ein nicht isolirter Leiter, etwa eine andere Person, mit dem Knöchel der Hand nähert, so springt ein Funken über, der für das Gefühl um so empfindlicher ist, auf je größere Entfernung er überspringt.

Wenn die Elektricität von einem isolirten Leiter auf einen andern übergeht, so vertheilt sie sich stets nach dem Verhältnisse der Oberflächen; damit also ein isolirter Leiter alle seine Elektricität verliere, muß man ihn mit einem andern in Berührung bringen, dessen Oberfläche unverhältnißmäßig größer ist, also z. B. mit dem Fußboden, denn dadurch ist er mit der ganzen Erdoberfläche in Verbindung, auf welcher sich seine Elektricität spurlos verliert, eben weil sie sich über eine so ungeheure Fläche gleichmäßig vertheilt. Wenn man eine isolirte elektrisirte Metallkugel mit einer andern gleich großen, gleichfalls isolirten, aber nicht elektrischen in Berührung bringt, so wird erstere gerade die Hälfte ihrer E verlieren. Wenn man dem Conductor der Elektrisirmaschine eine isolirte Metallkugel nähert, so schlagen nur schwache Funken über, während man mit einem nicht isolirten Leiter dem Conductor sehr kräftige Funken entlocken kann.

Fig. 67.



Eine eben ausgelöschte Kerze kann durch den elektrischen Funken wieder angezündet werden. Ebenso kann man Aether und Alkohol durch den elektrischen Funken anzünden; um dies zu bewirken, gießt man die Flüssigkeit in ein Metallgefäß und nähert ihrer Oberfläche den elektrisirten Körper, von welchem der Funken überspringen soll.

Die elektrische Pistole ist Fig. 67 dargestellt. Es ist ein kleines Metallgefäß, welches durch einen

Korkstopfen verschlossen ist. Ein Metalldraht, welcher mit zwei kleinen Kugeln *b* und *b'* endigt, reicht in das Gefäß hinein, ohne mit der Wand in leitender

Fig. 68.



Berührung zu stehen. Um dies zu bewirken, ist der Draht durch Siegellack in eine Glasröhre *ll'* und diese in eine Oeffnung der Seitenwand eingekittet. Der elektrische Funke, welcher durch diesen Draht geleitet wird, schlägt von der Kugel *b'* auf die gegenüberstehende Wand über. Wenn nun das Gefäß mit einem explodirenden Gase, etwa einer Mischung von Wasserstoff und atmosphärischer Luft, gefüllt ist, so bewirkt der Funke die Entzündung, der Stopfen wird unter lautem Knalle fortgeschleudert.

Beim Verpuffen des Knallgases verbinden sich immer 2 Volumtheile Wasserstoff mit 1 Volumtheile Sauerstoff zu Wasser; darauf gründet sich Volta's Eudiometer, welches man anwendet, um den Sauerstoffgehalt der atmosphärischen Luft zu ermitteln.

Zweites Kapitel.

Elektricität durch Vertheilung.

33 Wir haben gesehen, daß jede der elektrischen Flüssigkeiten die gleichnamige abstößt und die ungleichnamige anzieht. Diese Anziehung und Abstoßung äußert sich aber nicht allein auf die schon zersetzten Flüssigkeiten, sondern auch auf die noch verbundenen, und daher kommt es, daß die verbundenen Elektricitäten eines Körpers, der sich im natürlichen Zustande befindet, durch die Annäherung eines elektrischen Körpers vertheilt werden.

Fig. 69.



Einem isolirten Leiter *a b*, Fig. 69, nähere man von der einen Seite her einen elektrischen Körper, etwa einen negativ elektrischen Harzstab *r*, so würde *a b* durch Vertheilung elektrisch. Dem vertheilenden Körper *r* zunächst findet sich bei *b* die angezogene positive, an dem von *r* abgewandten Ende *a* des isolirten Leiters die abgestoßene negative Elektricität.

Daß die Elektricitäten wirklich auf diese Weise vertheilt sind, läßt sich durch ein Probescheibchen nachweisen. Es ist dieß ein Scheibchen von

Rauschgold oder von Messingblech von 1 bis 2 Centimeter Durchmesser, Fig. 70, welches an einem langen Stäbchen von Schellack oder einem übersirnißten ganz dünnen Glasstäbchen befestigt ist. Berührt man mit diesem Scheibchen den isolirten Leiter bei *a*, während der negativ elektrische Körper *r* sich in der Nähe befindet, so wird sich das Probescheibchen mit der hier angehäuften Elektricität laden, und welche Elektricität dies sey, erfährt man, wenn man es einem einfachen elektrischen Pendel, etwa einem negativ elektrischen Collodiumballon, nähert. Derselbe wird in unsrem Falle von dem Probescheibchen abgestoßen, weil es sich bei *a* mit — *E* geladen hat.

Um die bei *a* und *b* durch die vertheilende Wirkung des elektrischen Körpers *r* frei gewordene Elektricität auch ohne Probescheibchen nachzuweisen, brachte Biot an den Enden des isolirten Leiters elektrische Doppelpendel an (an leinenen Fäden hängende Hollundermarkkügelchen), welche augenblicklich divergiren, sobald man einen elektrischen Körper *r* nähert; die Pendel bei *b* divergiren, weil beide Kugeln mit der durch *r* angezogenen, die bei *a* weil sie mit der von *r* abgestoßenen Elektricität geladen sind.

In dieser Form gelingt der Versuch nicht immer, weil die Pendel bei *a* durch die Einwirkung von *r* stark aus der vertikalen Richtung abgelenkt und gegen *r* hingezogen werden, wodurch in der That Mißverständnisse veranlaßt wurden. Rieß hat dem Versuche eine zweckmäßigere Form gegeben, durch welche alle Einwürfe beseitigt sind. Ein Messingstab von 3 bis 4 Linien Durchmesser und 1 bis $1\frac{1}{2}$ Fuß Länge wird mittelst eines isolirenden Glasstabes so gehalten, daß die Axe des Leiters, Fig. 71, vertikal steht. Am obern und am untern Ende des Messingsstabes ist ein elektrisches Pendel angebracht. Wenn man von unten einen elektrischen Körper nähert, so divergiren beide Pendel, das untere mit der angezogenen, das obere mit der abgestoßenen Elektricität, wie man leicht mit Hülfe einer geriebenen Glas- oder Harzstange nachweisen kann.

Fig. 70.

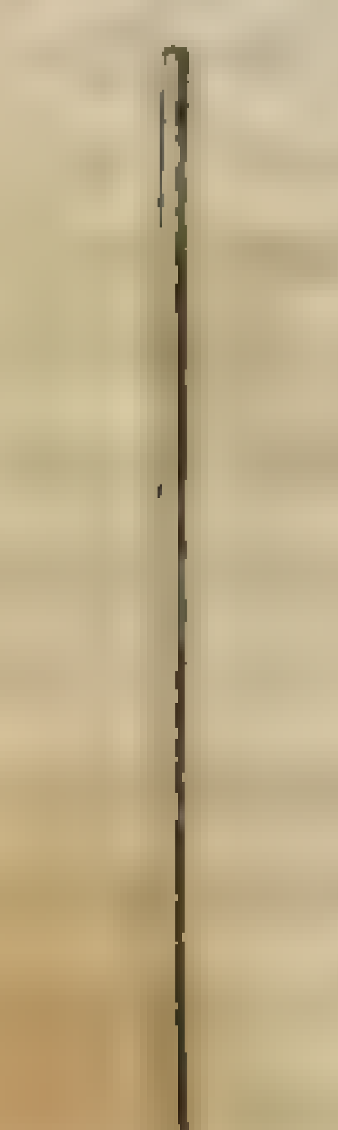
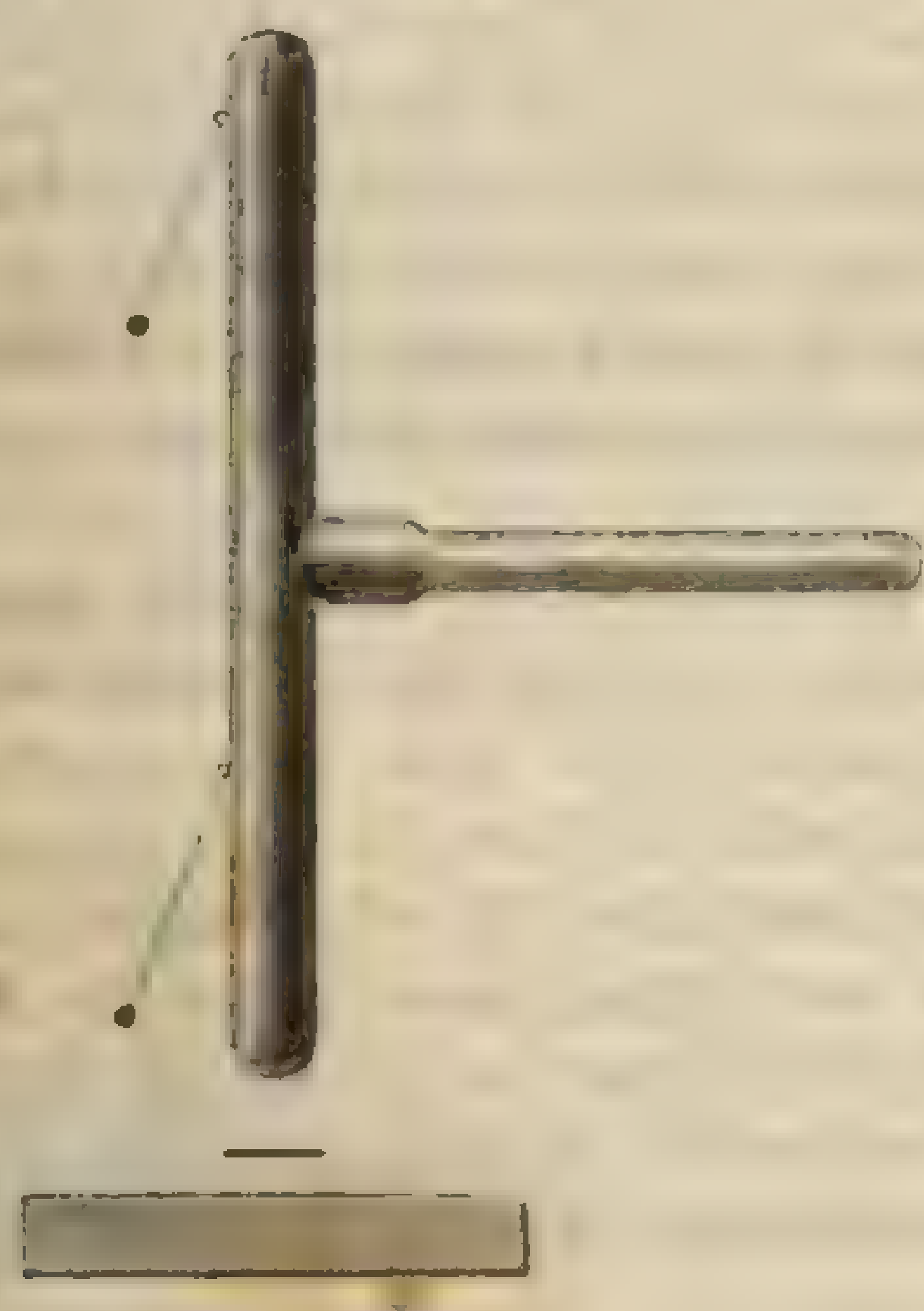


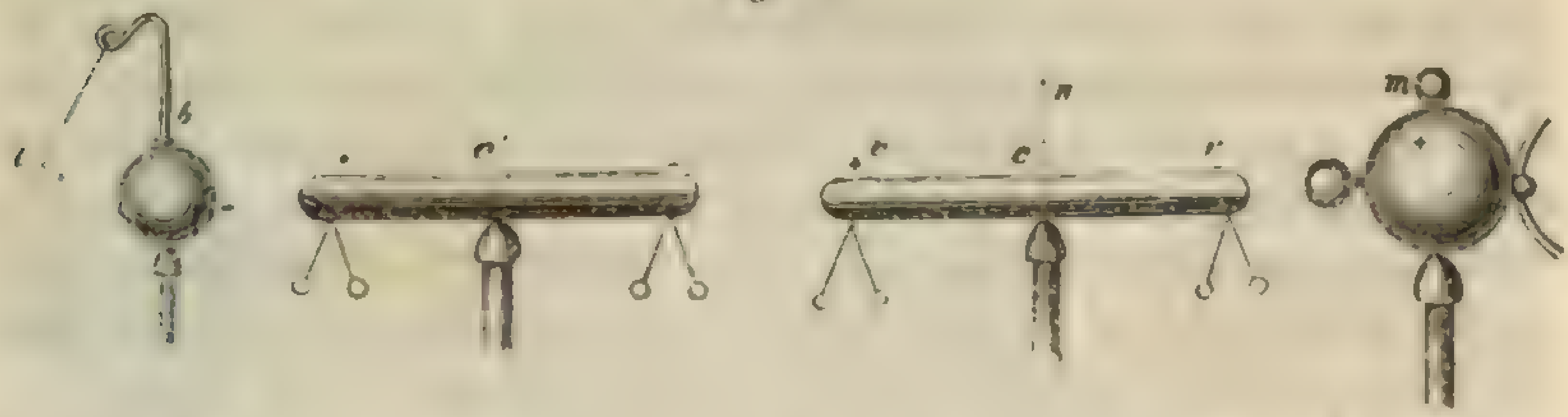
Fig. 71.



Ein durch Vertheilung elektrisirter Körper wirkt seinerseits auch wieder vertheilend auf andere, die ihm hinlänglich genähert werden, die sich also in seiner Wirkungssphäre befinden, und diese Wirkungen können sich auf ziemliche Entfernungen fortpflanzen. Man braucht nur einen Blick auf die Fig. 72 a. f. S.

zu werfen, um zu sehen, welche Anordnung man etwa treffen kann, um dies

Fig. 72.



durch den Versuch nachzuweisen; *m* ist der Conductor einer Elektrisirmaschine, *c* ein isolirter Metallcylinder, *c'* ein zweiter, *b* eine Metallkugel und *b'* ein Hollundermarkkügelchen.

Wenn man einen isolirten Leiter, welcher durch Vertheilung elektrisch gemacht ist, mit dem Boden in leitende Verbindung bringt, während der elektrische Körper durch seine Nähe noch vertheilend wirkt, so wird alle abgestoßene Elektricität in den Boden abgeführt, und der isolirte Leiter ist nur noch mit der Elektricität geladen, welche vom vertheilenden Körper *r* angezogen wird. Wenn man alsdann die leitende Verbindung mit dem Boden wieder aufhebt und dann *r* entfernt, so ist nun der isolirte Leiter geladen, und zwar seiner ganzen Ausdehnung nach mit derselben Elektricität.

Während durch die vertheilende Wirkung eines von Unten genäherten elektrischen Körpers beide Pendel des Apparates, Fig. 71, divergiren, berühre man den Messingstab ableitend mit dem Finger, so fällt das obere Pendel, weil alle vom vertheilenden Körper abgestoßene Elektricität nun in den Boden entweicht, das untere Pendel steigt aber noch etwas; die hier angehäufte Elektricität kann also nicht abgeleitet werden, weil sie durch die Anziehung des vertheilenden Körpers am untern Ende des Messingstabes zurückgehalten, weil sie hier, wie man sagt, **gebunden** ist.

Die gebundene Elektricität hat durchaus keine anderen Eigenschaften als die freie; ihre Theilchen stoßen sich gegenseitig ab, wie schon die fortwährende Divergenz des untern Pendels beweis't, und wenn sich die gebundene Elektricität nicht über den ganzen Leiter verbreiten kann, so rührt das nicht daher, daß die Theilchen derselben kein Bestreben hätten, sich von einander zu entfernen, es rührt nicht von einem Mangel am Propagationsvermögen her, sondern daher, daß der Kraft, mit welcher sich die Theilchen der gebundenen Elektricität gegenseitig abstoßen, und vermöge welcher sie sich über den ganzen Leiter verbreiten würden, durch die von den vertheilenden Körpern ausgehende Anziehung das Gleichgewicht gehalten wird.

Das Princip der elektrischen Vertheilung liefert uns ein treffliches Elektroskop. — Wenn am untern Ende eines isolirten Metallstabes ein Paar elektrische Pendel hängen, so divergiren sie, wenn man von Oben einen elektrischen Körper nähert. Um aus einer solchen Vorrichtung ein brauchbares Elektroskop zu machen, hat man vor Allem dafür zu sorgen, daß die Pendel sich in einem

Glasgefäß befinden, damit äußere Einflüsse, wie Luftströmungen u. s. w., nicht störend einwirken, und dann muß das leitende System sorgfältig isolirt seyn. Die Pendel können aus Strohhalmen, Hollundermarkkügelchen, die an feinen Metallfäden hängen, oder Metallblättchen bestehen. Ganz besonders sind die im Folgenden näher beschriebenen, nach Buff's Angabe construirten Elektrometer, Fig. 73, als zweckmäßig zu empfehlen.

Ein Messingstab, welcher, mit einer isolirenden Schicht umgeben, in den Hals eines Glasgefäßes eingelassen ist, hat oben eine Schraube, auf welche man nach Belieben eine Messingkugel oder eine Metallplatte aufschrauben kann. Am untern Ende sind am Stabe zwei Blättchen Rauschgold befestigt. Damit man die Einrichtung deutlicher sehen könne, ist dieser Stab mit seinem Isolirungssysteme, Fig. 74, in $1/3$ der natürlichen Größe dargestellt. Er ist nämlich an zwei Stellen mit Seide umwickelt und in eine Glasröhre gesteckt, welche innen und außen mit einer dünnen Schicht von Schellack überzogen ist. Auf diese Weise ist das Metall durch eine Luftschicht und an zwei Stellen durch Seide von dem ebenfalls nicht leitenden Rohre getrennt. Die Seidenumwickelung ist so dick, daß man den Metallstab in der Röhre mit einiger Reibung nach Belieben etwas auf- und niederschieben kann.

Fig. 73.

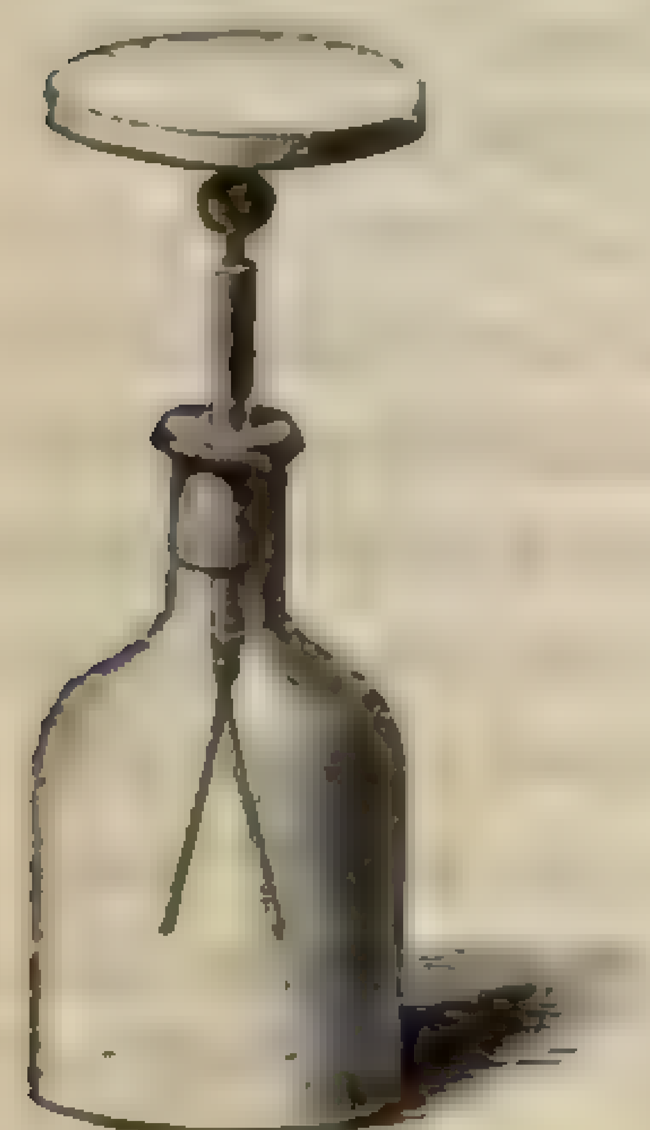
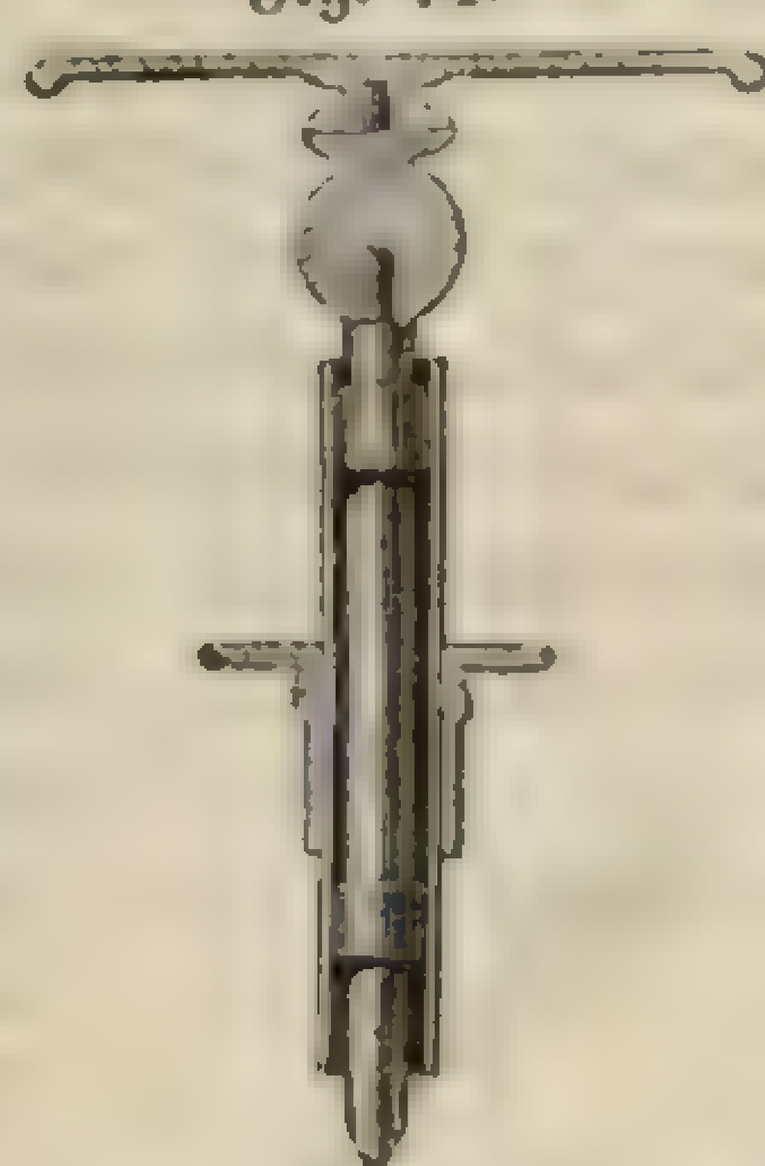


Fig. 74.



Diese Elektrometer sind weniger geeignet, schwache Elektricitäten sichtbar zu machen, als vielmehr Versuche über die Gesetze der Elektricität anzustellen, wo man hinlänglich starke Elektricitäten anwenden kann. Für manche dieser Versuche ist es zu empfehlen, zwei ganz gleiche Apparate dieser Art zu haben.

Ein empfindlicheres Elektroskop, welches nach denselben Principien construirt ist und auch als Elektrometer dienen kann, ist Fig. 75 in $1/6$ der natürlichen Größe dargestellt. Der abgeschlossene Raum, in welchem die Pendel hängen, ist durch Platten von Spiegelglas gebildet, welche an den Kanten luftdicht verkittet sind. Unter dem Boden dieses Raumes, welcher in der Mitte eine Oeffnung hat, kann von der Seite eine Schieblade eingeschoben werden, welche möglichst dicht schließen muß, und in welcher einige Stücke Chlorcalcium liegen, durch welche die Luft im Apparate

Fig. 75.



trocken erhalten wird. Die Pendel bestehen aus Goldblättchen; im übrigen ist der Apparat wie der vorige construirt.

Das Strohhalmelektrometer wurde von **Volta**, das Goldblattelektometer von **Bennet** zuerst angegeben.

Die Elektroskope, wie wir sie eben kennen gelernt haben, können auch zu Messungen gebraucht werden, wenn sie mit einer Theilung versehen sind, welche erlaubt, die Divergenz der elektrischen Pendel in Graden abzulesen. Bei dem Goldblattelektrometer, Fig. 75, ist ein Gradbogen auf die vordere Glaswand des Apparates aufgeklebt; um richtig abzulesen, muß das beobachtende Auge natürlich gerade vor der Mitte der Scala sich befinden. Fig. 76 stellt ein Strohhalmelektrometer mit Scala vor. Ein elfenbeinener Gradbogen sitzt auf einem Stäbchen, welches auf der Mitte des Bodens befestigt ist.

Wenn man untersuchen will, von welcher Natur die Elektricität irgend eines Körper sey, so muß das Elektroskop schon im Voraus mit einer bekannten Elektricität geladen werden; dies geschieht, indem man einen Körper *r* von bekannter Elektricität nähert und die Platte mit dem Finger berührt. Dadurch wird alle abgestoßene Elektricität abgeleitet, und im Apparate bleibt nur die angezogene, welche auf der Platte angehäuft ist. Sie ist hier gewissermaßen **gebunden**, d. h. sie kann sich nicht entfernen, weil sie durch *r* angezogen wird, deshalb divergiren die Blättchen nicht; sobald man aber erst den Finger und dann den Körper *r* entfernt, divergiren die Pendel, weil nun die Elektricität, welche durch den Körper *r* in die Platte gebunden worden war, sich frei über das ganze isolirte System, also auch über die Blättchen verbreitet. Die Elektricität, mit welcher auf diese Weise das Elektroskop geladen wird, ist natürlich die entgegengesetzte des Körpers *r*; wenn man also eine negative Ladung bezweckt, so kann man eine mit Seide geriebene Glasstange anwenden, indem diese positiv elektrisch ist.

Fig. 76.



Fig. 77.



Nähert man dem so geladenen Elektroskop einen elektrischen Körper, so wird dadurch die Divergenz der Pendel entweder vergrößert oder verkleinert werden. Sie wird vergrößert, wenn die E des zu untersuchenden Körpers mit derjenigen gleichnamig ist, welche man dem Apparate mitgetheilt hatte, denn durch seine Annäherung werden die Elektricitäten des Elektroskops noch vollständiger zer-

setzt, als es schon vorher der Fall war, es wird noch mehr von der Elektricität, welche schon in den Pendeln war, in dieselben heruntergetrieben, ihre Divergenz muß also zunehmen.

Wenn der genäherte Körper mit derjenigen E ungleichnamig ist, welche man dem Elektroskope mitgetheilt hatte, so nimmt die Divergenz ab, weil die Elektricität jetzt aus dem Pendel weg und in die Platte gezogen wird. Wenn man den Apparat mit irgend einer E geladen hat, so befinden sich doch noch unzersetzte Elektricitäten im Apparate, die durch den genäherten Körper zersetzt werden; ist nun die E des genäherten Körpers mit der im Elektroskope vorhandenen ungleichnamig, so wird die schon vorhandene in die Platte gezogen, die andere in die Pendel getrieben, die Divergenz muß also abnehmen. Bei einer bestimmten Entfernung des genäherten Körpers werden sich die Elektricitäten in den Pendeln gerade neutralisiren, die Pendel werden vollständig zusammenfallen. Wenn man den zu prüfenden Körper noch mehr nähert, so divergiren die Pendel von Neuem, aber nun mit der entgegengesetzten von der E, welche sie vorher divergiren machte.

Wenn man einem geladenen Elektroskope einen nicht elektrischen Leiter nähert, so nimmt die Divergenz der Pendel ebenfalls ab. Es ergiebt sich dies leicht als nothwendige Folge der Gesetze der elektrischen Vertheilung.

Wenn man zwei gleiche Elektroskope durch einen isolirten Leiter verbindet und dem einen einen elektrischen Körper r, Fig. 78, nähert, so divergiren die

Fig. 78.



Pendel in beiden, und zwar im einen mit $+$, im andern mit $-E$. Nimmt man nun den verbindenden Leiter weg (begreiflicher Weise muß man ihn dabei an dem isolirenden Griffe anfassen), so können die Pendel nicht wieder zusammenfallen, wenn man auch den Körper r entfernt, welcher die Vertheilung bewirkte, weil die getrennten Elektricitäten keinen Weg haben, auf welchem sie wieder zu einander übergehen könnten. Daß die Elektricitäten in beiden Apparaten entgegengesetzter Natur sind, kann man daraus erkennen, daß, wenn man einen und denselben elektrischen Körper bald dem einen, bald

dem andern Elektroskope nähert, in dem einen die Divergenz zunimmt, während im andern die Pendel zusammenfallen.

Die oben beschriebenen Anziehungserscheinungen finden durch die Gesetze der elektrischen Vertheilung nun auch ihre Erklärung. Wenn einem Körper, der sich in einem natürlichen Zustande befindet, ein elektrischer genähert wird, so werden seine Elektricitäten zerlegt. Dies ist nun auch bei dem Korkkügelchen des einfachen elektrischen Pendels der Fall. Ist es an einem Seidenfaden aufgehängt, so kann die abgestoßene *E* nicht aus dem Kügelchen entweichen, sie wird auf die hintere Seite des Kügelchens getrieben, während sich die angezogene auf der Vorderseite anhäuft. Weil aber die angezogene *E* dem Körper, von welchem die Wirkung ausgeht, näher ist, so ist die Anziehung stärker als die Abstoßung; die Kraft, welche das Kügelchen gegen den elektrischen Körper hintreibt, ist der Differenz dieser beiden entgegengesetzten Kräfte gleich, darum wird auch hier erst bei sehr geringer Entfernung des elektrischen Körpers eine Anziehung erfolgen. Weit energischer ist die Wirkung, wenn das Kügelchen an einem leitenden Faden aufgehängt ist, weil alsdann die abgestoßene *E* entweichen kann und durch sie die Anziehung nicht geschwächt wird.

Ein Kügelchen von Schellack wird bei Annäherung eines elektrischen Körpers nicht angezogen, weil der genäherte Körper nur sehr schwer Vertheilung in demselben hervorbringen kann. Es ist dies eine Erscheinung, welche der ganz analog ist, daß ein Magnet in einem Stück weichen Eisen eine magnetische Vertheilung hervorbringt, in einem Stück Stahl aber ungleich schwieriger.

Elektrometer nach dem Principe der Drehwage haben Peltier, Oersted, Dellmann und Romerhausen bekannt gemacht. Vor allen hat Dellmann diesem Instrumente bei großer Einfachheit der Construction eine außerordentliche Empfindlichkeit zu geben gewußt. Kohlrausch endlich hat das Dellmann'sche Elektrometer auch noch in ein zu genauen Messungen geeignetes Instrument umgewandelt.

Fig. 79 stellt ein nach dem Principe der Drehwage construirtes Elektrometer dar. An einem Coconfaden hängt, mittelst etwas Schellack daran befestigt, ein feiner gerader metallener Wagebalken. Er senkt sich mit seiner Mitte in einen Ausschnitt eines aus Messing- oder Silberblech verfertigten Streifchens *ab*; die eine Hälfte desselben ist ein klein wenig nach vorn, die andere etwas zurückgebogen, so daß sich der metallische Wagebalken der Länge nach, und zwar mit seiner einen Hälfte an die eine, mit der anderen an die andere Seite des Streifchens *ab* anlegen kann. Der obere Theil der Vorrichtung wird so gedreht, daß der Wagebalken durch die Torsion des Fadens an den Streifen *ab* ganz schwach angedrückt wird.

Ein Messingdraht *bd* geht isolirt durch eine in die Seitenwand des Gefäßes gebohrte Oeffnung und wird durch eine aufgekittete Fassung von Holz oder Metall gehalten. Innerhalb des Gefäßes trägt er das Streifchen *ab*, außerhalb eine Condensatorplatte oder eine kleine Metallkugel.

Sobald dem Draht *bd* die geringste Menge Elektricität mitgetheilt wird, geht ein Theil derselben auf den Wagebalken über, welcher nun vom Streifchen

a b abgestoßen wird und, in Ruhe gekommen, einen um so größeren Winkel mit *a b* macht je stärker die Ladung war.

Fig. 79.



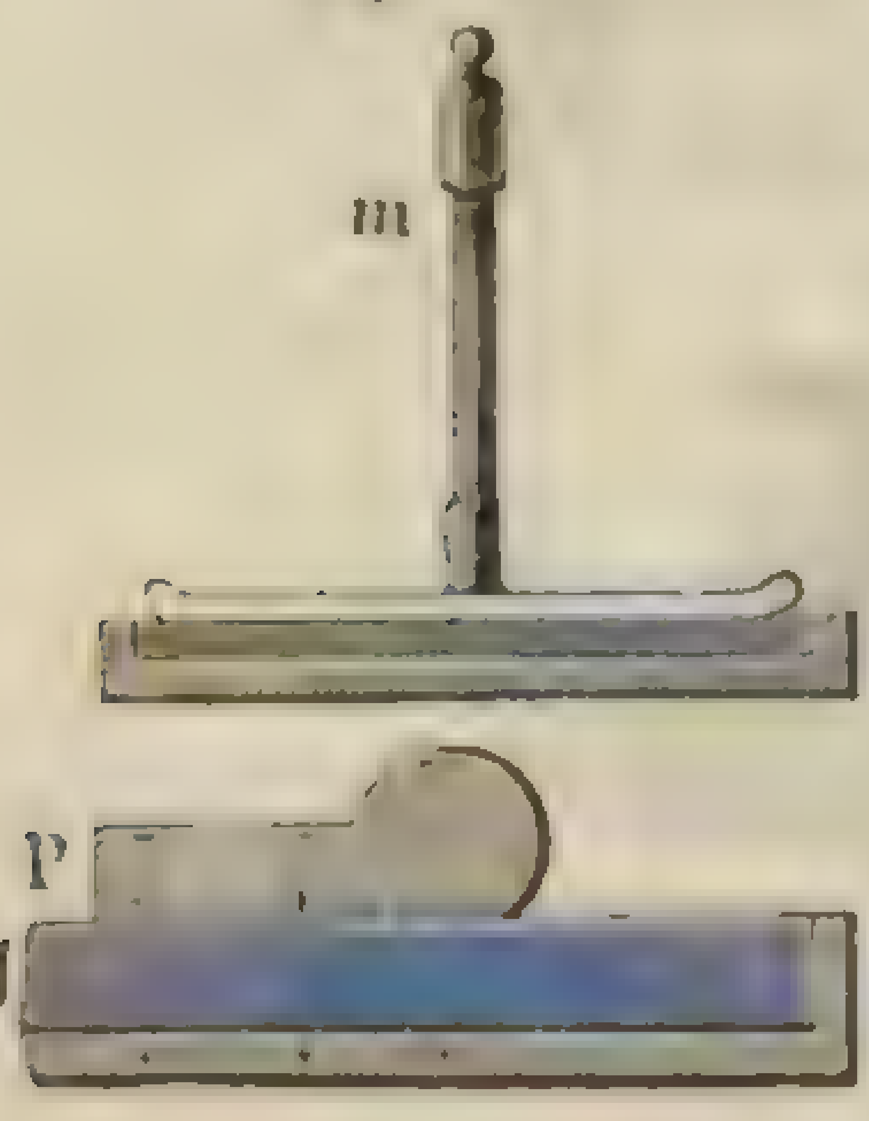
Dualisten und Unitarier. Die 34
Anhänger der bisher entwickelten Theorie, nach welcher es zwei verschiedene elektrische Fluida giebt, an deren Spitze Symmer steht, werden mit dem Namen der Dualisten bezeichnet, im Gegensatze zu den Unitariern, welche nach Franklin und Aepinus nur ein elektrisches Fluidum annehmen. Von diesem Fluidum muß in jedem Körper eine bestimmte Menge enthalten seyn, wenn er sich im gewöhnlichen Zustande befindet. Ein Ueberschuß dieses Fluidums bedingt den positiv elektrischen, ein Mangel den negativ elektrischen Zustand; die einzelnen Theilchen dieser elektrischen Flüssigkeit stoßen sich einander ab, die Körpertheilchen aber ziehen sie an. Diese Theorie erklärt allerdings die Erscheinungen der elektrischen Vertheilung und die gegenseitige Abstoßung positiv elektrischer Körper ganz gut, zur Erklärung der gegenseitigen Abstoßung negativ elektrischer Körper muß sie aber die höchst unwahrscheinliche Hülfshypothese zur Hand nehmen, daß die aller elektrischen Flüssigkeit beraubten Körpertheilchen sich einander gleichfalls abstoßen. Der Schwierigkeiten wegen, auf welche man bei der Erklärung mancher elektrischer Erscheinungen nach der Theorie der Unitarier stößt, ist sie gegenwärtig wohl fast von allen Physikern verlassen, indem sich diese der dualistischen Ansicht zugewendet haben.

Vor mehreren Jahren hat auch Faraday die Grundzüge einer neuen Theorie der elektrischen Erscheinungen bekannt gemacht, nach welcher die Elektricität keine Wirkung in die Ferne ausüben soll; die vertheilende Wirkung,

welche ein elektrischer Körper durch isolirende Körper hindurch ausübt, erklärt er durch einen polaren Zustand der Theilchen der die Leiter trennenden nichtleitenden Substanzen. Faraday, welcher sonst um die Elektricitätslehre so große Verdienste hat, entwickelt seine Ansicht ebenso weitläufig als unklar. Was aber besonders zur Verwirrung der Begriffe beiträgt, ist der Umstand, daß er eine Menge von Versuchen beschreibt, deren Resultat sich nach den bisherigen Ansichten voraussehen ließ, während er sie doch als Argumente gegen dieselben anführt. Da Faraday's neue Theorie in ihrer jetzigen Form wenigstens noch nicht im Stande ist, eine eben so klare Uebersicht der elektrischen Erscheinungen zu geben, wie die bisher entwickelte, so kann hier wohl eine nähere Besprechung derselben unterbleiben.

35 **Das Elektrophor** ist einer der wichtigsten elektrischen Apparate und kann in vielen Fällen selbst die Elektrisirmaschine ersetzen. Es ist von Wilke erfunden und von Volta verbessert worden. Es besteht aus einem Harzkuchen, welcher, wie Fig. 80 zeigt, in eine metallene Form, gleichsam einen Teller von Metall, gegossen ist. Es ist sehr wesentlich, daß die Oberfläche des Harzkuchens möglichst eben sey. Auf diesen Harzkuchen, dessen Oberfläche durch Schlagen mit einem Fuchsschwanze oder einem Katzenpelze negativ elektrisch gemacht wird, setzt man einen mit einer isolirenden Handhabe *m* versehenen Deckel von Metall platt auf. Die $-E$ des Harzkuchens wirkt vertheilend auf die bis dahin noch verbundenen Elektricitäten im Deckel, die $+E$ wird angezogen, die $-E$ aber abgestoßen; die $+E$ wird sich deshalb im untern, die $-E$ im obern Theile des Deckels anhäufen. Nähert man dem Deckel den Knöchel eines Fingers, so springt ein Funken über, und wenn man den Deckel mit dem Finger berührt, so wird alle $-E$ sich entfernen und der Deckel sich nur mit $+E$ laden, die aber durch die $-E$ des Harzkuchens gebunden ist, so lange der Deckel auf demselben liegen bleibt. Hebt man aber den Deckel von dem Kuchen ab, indem man ihn an der isolirenden Handhabe anfaßt, o wird diese $+E$ frei, und man kann nun aus dem Deckel einen Funken positiver Elektricität ziehen.

Fig. 80.



Eine treffliche Elektrophormasse ist die von Böttger empfohlene, sie besteht aus 5 Theilen Schellack, 5 Theilen Mastiks, 2 Theilen venetianischem Terpentin und 1 Theil Marineleim (einer aus Schellack, Steinkohlentheer und Kautschuk bestehenden Masse). Bei großer Wirksamkeit ist die Böttger'sche Elektrophormasse dem Springen nicht ausgesetzt.

Der Deckel des Elektrophors ist in der Regel von Messing oder Zinn und mit einem abgerundeten Rande versehen. Man kann jedoch auch Deckel von Glas, Holz oder Pappe anwenden, die mit Stanniol überzogen sind; nur muß dafür gesorgt seyn, daß die untere Fläche, welche auf den Harzkuchen zu liegen

kommt, wie dieser selbst, möglichst eben ist. Statt der isolirenden Handhabe von Glas kann man den Deckel an drei Schnüren von Seide aufhängen.

Auch aus Guttapercha lassen sich Elektrophore verfertigen.

Wir haben eben nur gezeigt, wie es kommt, daß dem Deckel des Elektrophors eine Ladung positiver Elektricität ertheilt werden könne, ohne daß die Rede davon war, welche Rolle die Form oder die untere Metallplatte dabei spielt. Wenn man den Harzkuchen auf eine isolirende Unterlage, etwa auf eine Glastafel, legte, so würde es nicht möglich seyn, so starke Ladungen zu erhalten, wie es der Fall ist, wenn der Kuchen eine leitende Unterlage hat. Durch das Schlagen mit dem Pelze kann nämlich nur noch so lange Elektricität entwickelt werden, bis eine gewisse Gränze der Ladung des Kuchens erreicht ist, über welche Gränze hinaus jede neu entwickelte — *E* des Kuchens sogleich wieder zu ihrem Gegensatze in Pelz übergehen würde. Wenn aber der Harzkuchen auf einer leitenden Unterlage liegt, so wirkt die — *E* des Kuchens vertheilend auf dieselbe, die — *E* der Form wird abgestoßen, die + *E* angezogen. Die + *E* der Form aber zieht auch die — *E* des Kuchens an und trägt dazu bei, dieselbe auf dem Kuchen zurückzuhalten. Wenn man einen Harzkuchen, der während des Schlagens mit Pelz auf einer leitenden Unterlage gelegen, aufhebt, so wird nun auf einmal alle *E* frei, welche durch den Einfluß der Unterlage auf dem Harze zurückgehalten war; man kann demselben zahlreiche kräftige Funken entziehen, welche während des Aufliegens nicht übersprangen.

Sehr leicht läßt sich dies mit Hülfe einer Guttaperchaplatte zeigen. Ist sie auf einer leitenden Unterlage liegend mit Tuch oder einem Felle gepeitscht worden, so kann man keine Funken aus ihr ziehen, während sie lange Funken sprüht, sobald man sie von der leitenden Unterlage aufhebt.

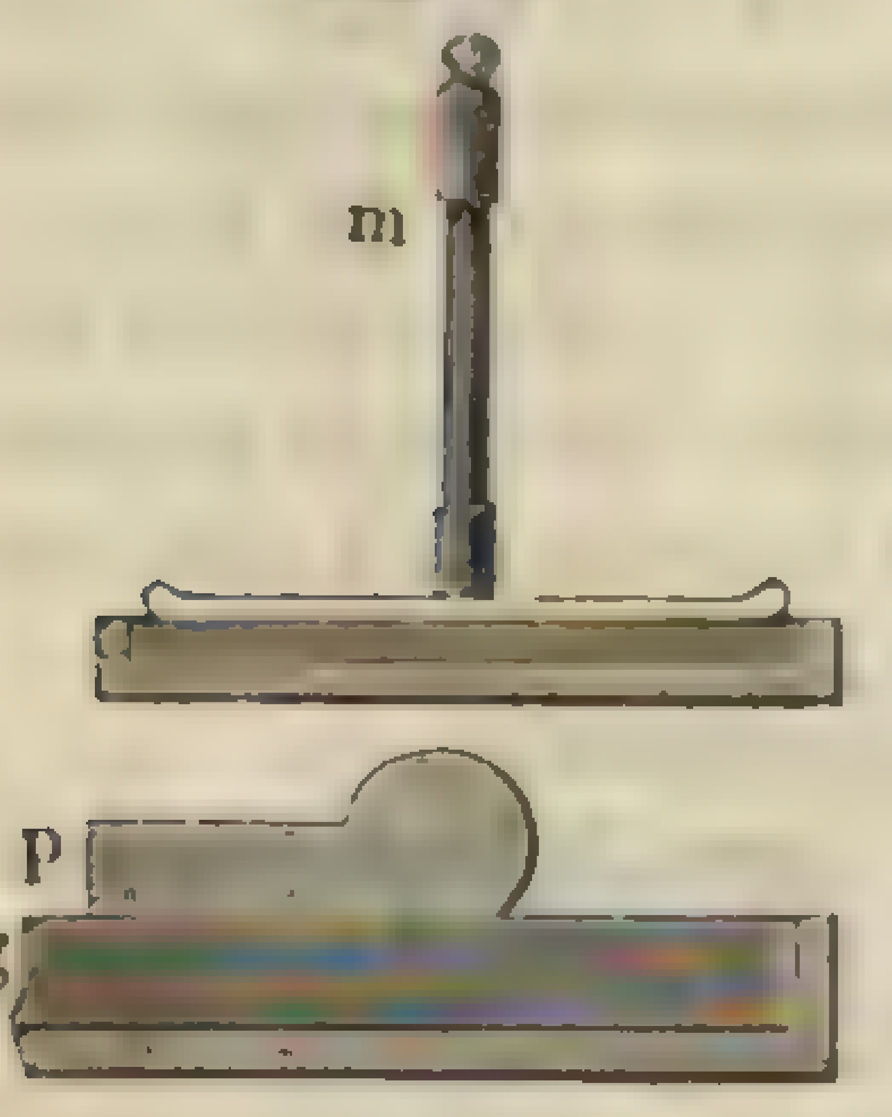
Die Gesetze des Elektrophors lassen sich sehr wohl mit Hülfe des oben beschriebenen Elektroskops, Fig. 73, nachweisen. Man lege auf die Platte des Elektroskops eine Scheibe von Schellack oder auch eine Platte von Guttapercha, deren Durchmesser noch etwas größer ist als der Durchmesser der Metallplatte. Wenn, wie es seyn muß, die Schellackscheibe ganz unelektrisch ist, so werden natürlich die Pendel nicht divergiren, sobald man aber die obere Harzfläche mit einem Katzenpelze schlägt, divergiren die Pendel, und zwar mit — *E*, weil durch die — *E* auf der Oberfläche des Schellacks die + *E* des Apparats in der Metallplatte gebunden, die — *E* aber abgestoßen wird. Sobald man nun die Metallplatte des Elektroskops unten mit dem Finger berührt, wird die abgestoßene — *E* abgeleitet, die Pendel fallen zusammen, in der Metallplatte bleibt aber + *E* gebunden, was man daraus erkennt, daß die Pendel mit + *E* divergiren, sobald man die Schellackplatte abhebt, sogleich aber auch wieder zusammenfallen, wenn man sie wieder auflegt.

Die eben beschriebene Anordnung stellt uns ein vollständiges Elektrophor dar, die Schellackscheibe ist der Harzkuchen, die Platte des Elektroskops ist die Form. Bei dieser Form des Versuchs ist es nun, wie wir gesehen haben, leicht, jederzeit den elektrischen Zustand der Form nachzuweisen.

Sobald man auf die obere Fläche der Schellackscheibe eine, durch eine Glasstange isolirte Metallscheibe, welche der Plate des Elektroskops ganz gleich ist und dem Deckel des Elektrophors entspricht, auffetzt und mit dem Finger berührt, verändern sich die Umstände. In dem Moment, in welchem man aus der oberen Deckelplatte die — E ableitet, so daß sie nur noch $+E$ enthält, wird die — E das Harzkuchens durch die $+E$ im Deckel vollständig beschäftigt, sie kann nicht mehr, wie früher, bindend auf die $+E$ der untern Platte wirken, welche ja weiter von der geriebenen Oberfläche entfernt ist. In dem Augenblicke, in welchem man die obere Platte mit dem Finger berührt, werden deshalb die Pendel des Elektroskops divergiren, und zwar mit der $+E$, welche bis dahin in der Platte des Elektroskops gebunden war.

Dies erklärt nun auch eine Erscheinung am Elektrophor, welche bisher noch nicht erwähnt wurde. Wenn man nämlich den Deckel gehörig aufgesetzt hat und gleichzeitig mit einem Finger den Deckel, mit einem andern die Form berührt, so erhält man einen Schlag oder Stoß, der weit heftiger ist, als wenn man nur den Deckel berührte. Es kommt dies daher, daß die — E des Deckels und die frei werdende $+E$ der Form zu einander übergehen.

Fig. 81.



Die Fig. 81 zeigt, wie die Elektricitäten im Elektrophor vertheilt sind, wenn man den Deckel aufgesetzt und noch nicht mit dem Finger berührt hat.

36 **Die Elektrisirmaschine** besteht aus einem reibenden Körper, einem Reibzeuge und einem isolirten Leiter.

Die reibende Fläche ist gewöhnlich ein Leder, welches mit Amalgam übergezogen ist.

Der geriebene Körper ist eine Glasscheibe oder ein Glascylinder.

Der isolirte Conductor ist in der Regel ein System von hohlen Cylindern aus Messingblech, an den Enden kugelförmig abgerundet und von gläsernen Säulen getragen, welche mit Schellackfirniß überzogen sind.

Man hat der Elektrisirmaschine mancherlei verschiedene Einrichtungen gegeben.

Fig. 82 stellt eine Scheibenmaschine dar, wie sie Winter in Wien construirt, dessen Elektrisirmaschinen, namentlich in Beziehung auf Funkenlänge, Ausgezeichnetes leisten. Die Umdrehungsaxe der Scheibe ist von Glas; sie ruht auf den gläsernen Säulen h. Das Reibzeug wird durch die Glassäule f getragen.

Das Gestell, welches zur Aufnahme des Reibzeugs dient, ist Fig. 83 für sich allein dargestellt. Auf den Glasfuß ist das gabelförmige Holzstück n aufgekittet, in welchem auf jeder Seite eine Vertiefung zur Aufnahme des Reibzeugs eingeschnitten ist; in der Mitte derselben befindet sich ein Stanniolstreifen, welcher die Elektricität von der Feder des Reibzeugs aufnimmt und zum negativen Conductor o führt.

Das Reibzeug selbst ist in Figur 84 dargestellt, und zwar von der Rückseite

mit Hinweglassung des daran befestigten Wachstaffents; *p* ist ein Schieber von Holz, welcher in dem Reibzeuggestell eingeschoben wird; *q* ist eine Leiste, welche das Durchschlüpfen des Reibzeugs verhindert. Auf dem Schieber *p* ist

Fig. 82.

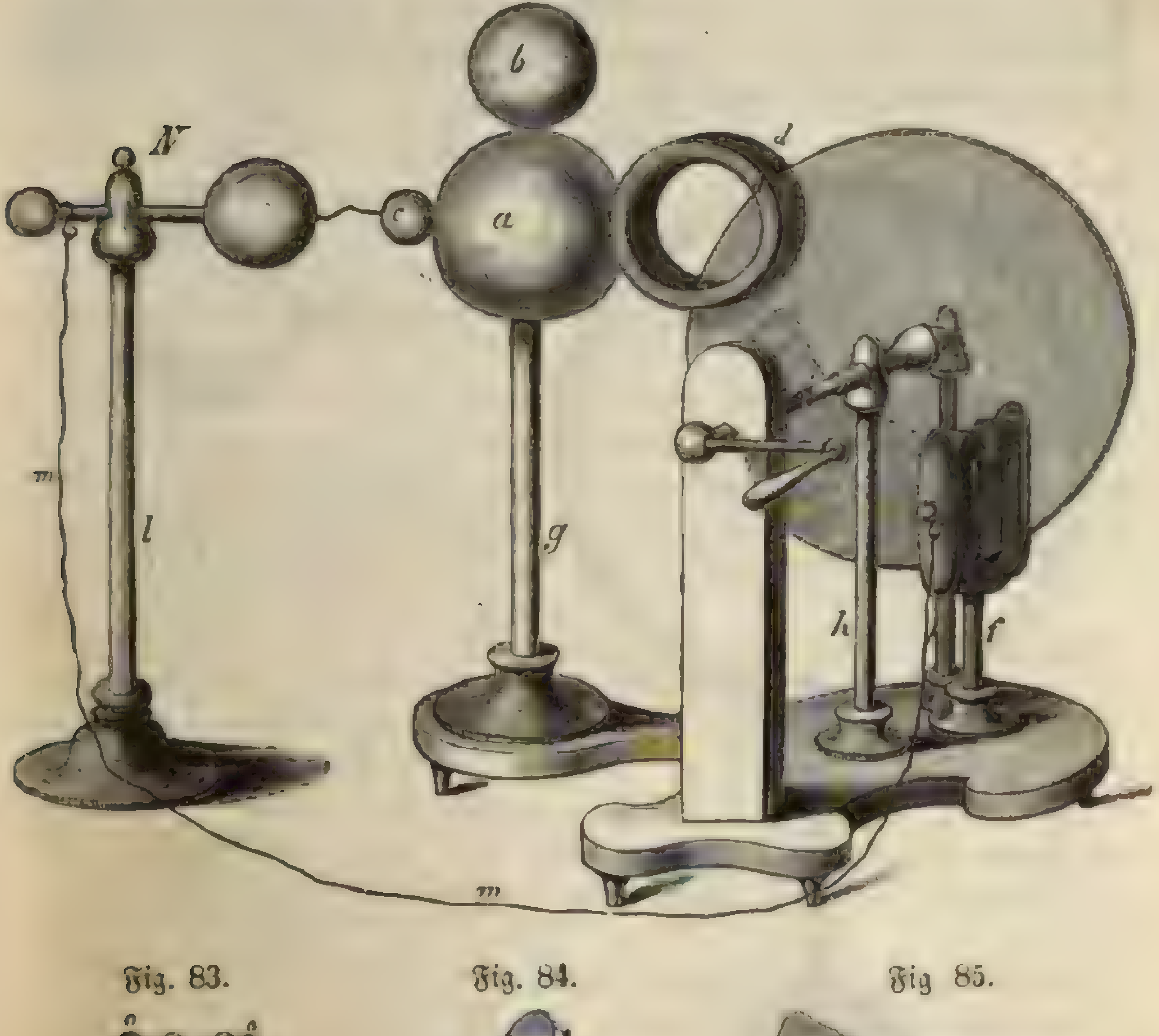


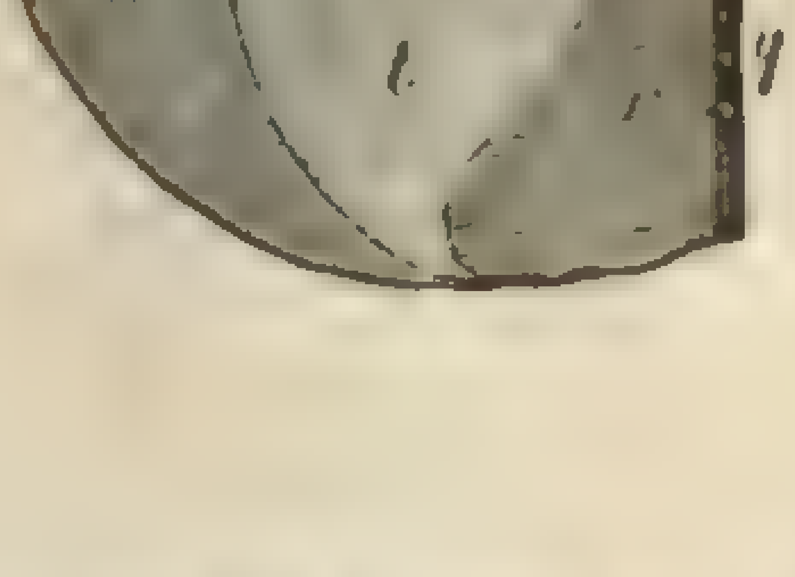
Fig. 83.



Fig. 84.



Fig 85.



das amalgamirte Leder *r* befestigt. Beim Einschieben des Reibzeugs wird die Metallfeder *s*, welche mit ihrem schmalen Ende auf *p* aufgeschraubt ist, niedergedrückt. Wenn einmal das Reibzeug eingeschoben ist, so drückt diese Feder mit genügender Kraft und Elasticität das Reibzeug gegen die Scheibe.

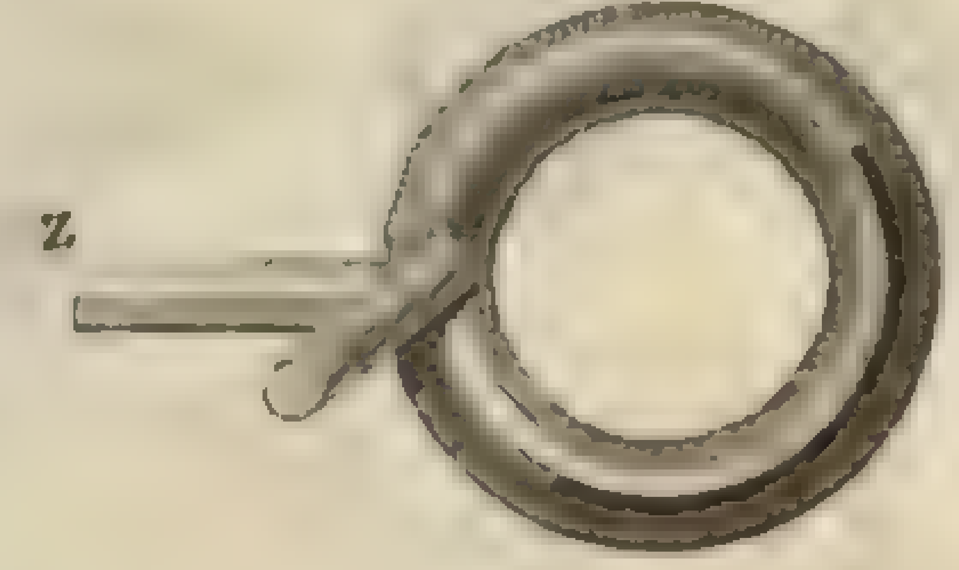
Fig. 85 stellt das Reibzeug von der amalgamirten Seite des Leders angesehen dar, und zwar mit dem Wachstaffent. *t* ist eine einfache, *u* eine doppelte Lage von Wachstaffent.

Der Conductor *a* sammt der darauf gesteckten Kugel *b* ist von Messingblech verfertigt. Damit die auf dem Conductor *a* angehäufte Elektricität möglichst wenig an der Glassäule *g* abströmen könne, hat der Conductor *a* eine schon von Van Marum bei der großen Harlemer Maschine mit Erfolg angewandte Form, die man Fig. 86 deutlicher sieht, welche den Conductor *a* im Durchschnitt sammt einem statt der Kugel *b* aufgesteckten Holzring zeigt. Die Kugel *a* ist nämlich unten eingezogen.

Fig. 86.



Fig. 87.



In den Conductor *a* sind mehrere Blechhülsen eingelöthet; die obere dient, um die Kugel *b* oder den Holzring aufzustecken; von der linken Seite her wird die kleine Kugel *c*, von der rechten die Saugvorrichtung *d* eingesteckt.

Diese Saugvorrichtung hat bei den Winter'schen Maschinen eine ganz eigenthümliche, sehr zweckmäßige Einrichtung; sie besteht nämlich aus zwei Ringen von polirtem Holze, welche an der Innenseite, da wo die Scheibe sich zwischen ihnen durchbewegt, mit einer Rinne versehen sind, wie man dies Fig. 87 sieht, wo der vordere Ring wegelassen ist, damit man die Rinne des hinteren sehen kann.

Der Boden dieser Rinne ist mit Stanniol beklebt, aus welchem eine Reihe feiner Nadelspitzen gegen die Scheibe gerichtet hervorragen. Das metallische Stäbchen *z*, Fig. 87, mittelst dessen die Saugvorrichtung an den Conductor angesteckt wird, ist ebenso wie die Hülse, in die es paßt, eckig, damit eine Drehung um seine Axe nicht möglich ist. Die Rinne ist durch ein Stanniolstreifchen mit *z*, also auch mit dem Conductor *a* metallisch verbunden.

Beim Drehen wird nun die Glasscheibe zwischen dem Reibkissen + elektrisch. Damit sich nun auf dem Wege von dem Reibzeuge zu den Saugern

die Elektricität nicht von der Scheibe verliert, sind die bereits erwähnten Lappen von Wachstaffent angebracht, welche, wie wir gesehen haben, am Reibzeug befestigt sind. So kommen denn die beim Drehen zwischen den Reibkissen + elektrisch gewordenen Stellen der Scheibe zwischen die Holzringe, die + E der Scheibe wirkt vertheilend auf die Spitzen, die + E wird abgestoßen und auf den Conductor a getrieben, während die — E aus dem Conductor durch die Spitzen auf die Scheibe strömt, um sie wieder in natürlichen Zustand zu versetzen. So wird denn der Conductor a mit positiver Elektricität geladen.

Damit eine fortwährend starke Elektricitätsentwickelung möglich ist, muß die auf dem Reibzeug entwickelte — E möglichst vollständig abgeleitet werden, das Reibzeug muß deshalb mit dem Boden oder noch besser mit einer großen Metallmasse (wo es möglich ist mit Gasleitungsröhren) in gut leitender Verbindung stehen.

Will man mit — E experimentiren, so wird der Conductor a mit dem Boden leitend verbunden; die negative Elektricität sammelt sich alsdann auf dem Conductor des Reibzeugs. Dadurch, daß die Ringe d von Holz sind, wird eine bedeutende Anhäufung von positiver Elektricität an dieser Stelle und somit ein Ueberströmen derselben zum Reibzeug möglichst verhindert und eine stärkere Ladung des Conductors a ermöglicht.

Die Länge der Funken, welche man aus dem Conductor a ziehen kann, wird durch das Aufsetzen des in Fig. 86 dargestellten Holzringes bedeutend vermehrt. Außen ist er polirt; den Kern des Stabes und des Ringes aber bildet ein Eisendraht. — Eine Winter'sche Maschine, deren Scheibe 40 Zoll Durchmesser hat, giebt 24 Zoll lange, eine solche mit 18zölliger Scheibe giebt in gutem Zustande 10 Zoll lange Funken. Bei der nach seinem System umgebauten Maschine der polytechnischen Schule zu Wien hat Winter die Funkenlänge auf 4 Fuß gebracht.

Um große Funken aus dem Conductor a zu ziehen, ist der Funkenzieher N bequem, welcher auf einem Glasfuße l befestigt ist und dessen aus Messingblech verfertigte Kugel mit dem Reibzeug in leitende Verbindung gesetzt wird.

Fig. 88, s. f. S., stellt Nairne's Cylindermaschine dar. Hier ist der geriebene Körper ein großer Glascylinder a, welcher um eine horizontale Axe b drehbar ist und in seiner ganzen Länge durch ein einziges Kissen e gerieben wird. Dieses Kissen ist mit dem einen Conductor r in Verbindung. Der Conductor v steht dem Kissen e diametral gegenüber und ist an der dem Cylinder zugekehrten Seite mit Spitzen besetzt. Damit das am Reibzeug c geriebene Glas auf dem Wege bis zum Conductor v seine Elektricität nicht verliert, ist die obere Hälfte des Cylinders mit einem Stücke Wachstaffent besetzt, welches am Reibzeuge e befestigt ist. Wenn man auf v eine starke Ladung von + E haben will, so muß man den Conductor r mit dem Boden in leitende Verbindung setzen. Umgekehrt muß man dafür sorgen, daß die + E vom Conductor v frei abströmen kann, wenn man auf r eine starke negative Ladung beabsichtigt.

Um über den Grad der Ladung des Conductors einigermaßen ein Urtheil zu haben, setzt man das Henley'sche Quadrantenelektrometer, Fig. 89,

auf denselben, dessen Einrichtung schon aus der Figur klar wird. Je stärker die Ladung wird, desto mehr wird das Korkkügelchen abgestoßen, desto mehr

Fig. 88.

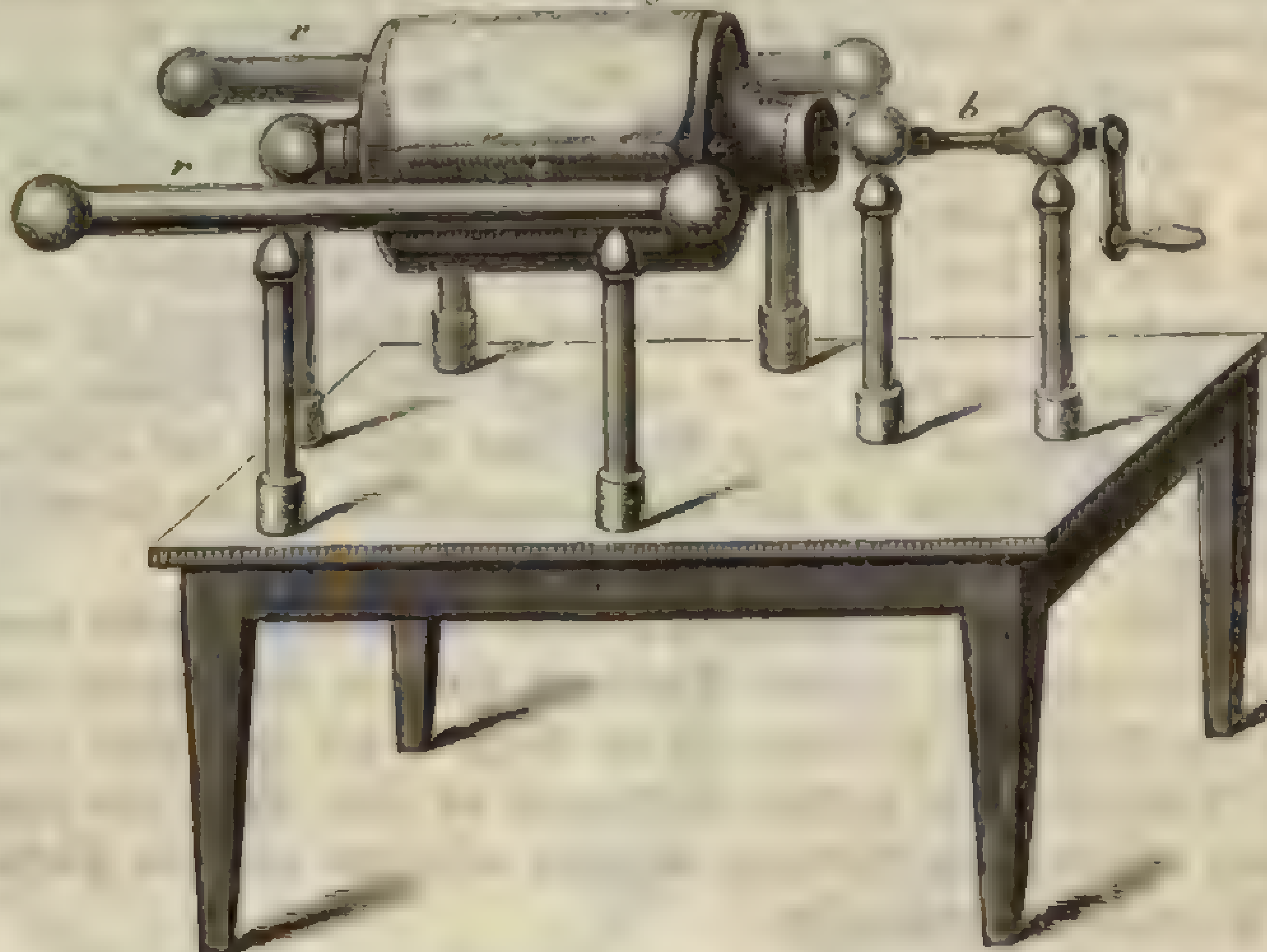


Fig. 89.



steigt es. An einem getheilten Halbkreise kann man sehen, um wie viel Grade sich das leichte Stäbchen, welches die kleine Kugel trägt, von seiner Gleichgewichtslage entfernt hat. Diese Gradzahl ist jedoch nicht der elektrischen Spannung auf dem Conductor proportional. Wenn man die Maschine zu drehen anfängt, steigt das Kügelchen rasch, bald aber erreicht es eine Stellung, welche es fast ganz unverändert beibehält, so lange man dreht. Es zeigt dies, daß ungeachtet der fortwährenden Elektricitätsentwickelung die Spannung auf dem Conductor nicht mehr zunimmt. Der Grund davon liegt darin, daß, so gut man den Conductor auch isoliren mag, er doch fortwährend Elektricität verliert. Dieser Verlust ist nun um so größer, je größer die Spannung der Elektricität ist; begreiflicher Weise wird bei fortgesetztem Drehen bald ein Zeitpunkt eintreten, wo die Spannung auf dem Conductor so groß ist, daß der elektrische Verlust in jedem Zeittheilchen gleich ist der Elektricitätsmenge, welche in derselben Zeit dem Conductor zugeführt wird.

Die Größe der möglichen Ladung eines Conductors hängt namentlich auch von der Witterung ab. Bei feuchter Witterung, wo der elektrische Verlust sehr bedeutend ist, kann man dem Conductor keine so starke Ladung ertheilen, wie bei trockenem Wetter, wie man dies namentlich sehr deutlich mit dem Quadrantenelektrometer zeigen kann.

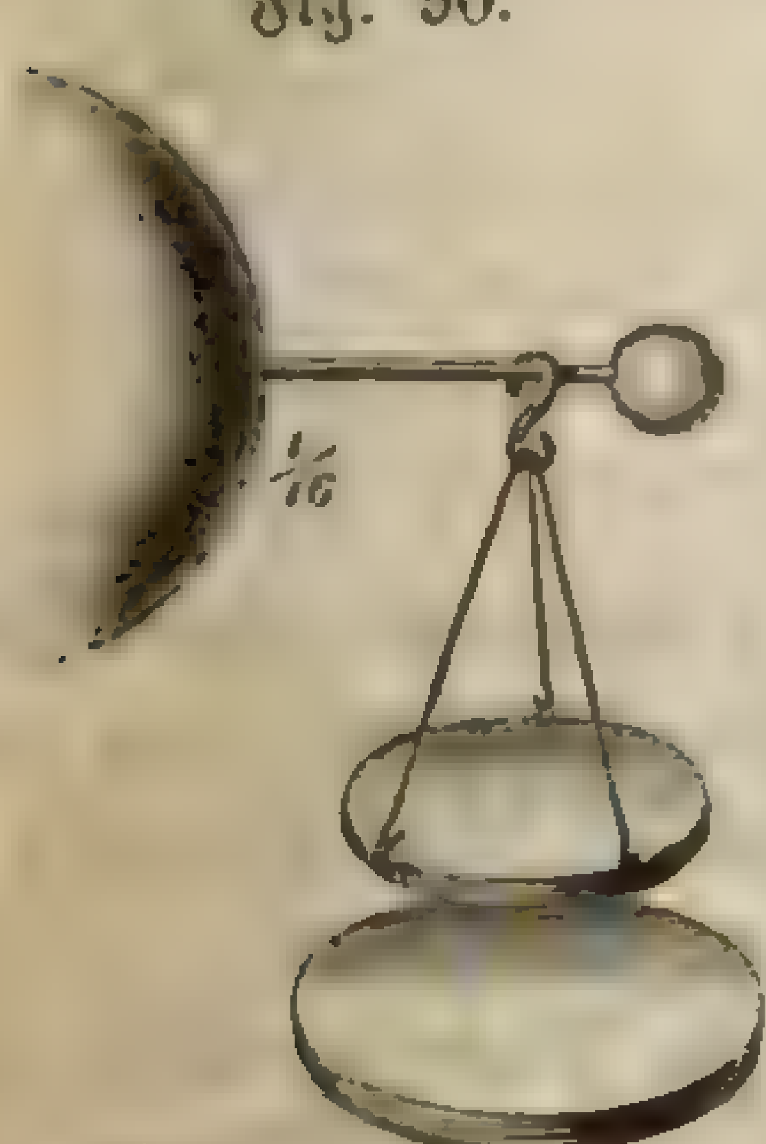
W i n t e r ist auf die gute Idee gekommen, die Wirkung der Elektrisirmaschine direct mit dem Stand eines Darmsaitenhygrometers zu vergleichen, und hat gefunden, daß die Funkenlänge nahezu in demselben Verhältniß abnimmt,

in welchem sich der Zeiger des Hygrometers dem Punkte der größten Feuchtigkeit nähert. Er hat sich zur Vergleichung mit den Wirkungen der Elektrisirmaschine ein besonderes Hygrometer construirt, welches er Hygroelektrometer nennt. Der Punkt der größten Feuchtigkeit ist mit 0, der der größten Trockenheit ist mit 16 bezeichnet und der Zwischenraum des Gradbogens in 16 gleiche Theile getheilt. Steht der Hygrometerzeiger auf 16, so hat man die größte Funkenlänge zu erwarten, welche die Maschine geben kann, steht aber der Zeiger auf 8, auf 4, so werden die Funken ungefähr nur $1/_2$, $1/_4$ so lang seyn, als sie die Maschine unter den günstigsten Umständen zu geben im Stande ist. Man braucht nur den Stand des Hygrometers zu beobachten, um zu wissen, welche Funkenlänge man von der Maschine zu erwarten hat.

Versuche mit der Elektrisirmaschine. Mit der Elektrisirmaschine las- 37
sen sich zahlreiche Versuche anstellen, welche dazu dienen, die bisher betrachteten Gesetze der Elektricität zu erläutern. Wir wollen einige derselben näher betrachten.

Der Korkkugeltanz ist eigentlich nur eine vollendetere Form des durch Fig. 59 auf Seite 61 dargestellten Versuchs. Am einfachsten stellt man ihn so an, daß man an den Conductor der Maschine mittelst leitender Schnüre eine Metallplatte oder eine mit Stanniol überzogene Holzplatte anhängt, wie es Fig. 90 zeigt, und unter dieselbe eine ähnliche leitende Platte legt, welche gehörig zum Boden abgeleitet ist. Befinden sich auf der unteren Platte Kork- oder Hollundermarkkügelchen, so werden sie, wenn die Maschine gedreht wird, von der oberen Platte angezogen, sobald sie sich aber mit der Elektricität dieser oberen Platte geladen haben, werden sie wieder abgestoßen; an der unteren Platte entladen, steigen sie von neuem und so tanzen die Kügelchen zwischen den beiden Platten auf und ab.

Fig. 90.



Man kann die leichten Kügelchen durch gemalte und ausgeschnittene Papierfigürchen oder durch leichte Püppchen von Hollundermark ersetzen und erhält so den elektrischen Puppentanz.

Bei dem eben beschriebenen Versuch fahren die Kügelchen leicht nach den Seiten auseinander; um dies zu verhindern, schließt man sie in einen Glascylinder ein, den man oben und unten mit einem Deckel von Pappe versieht, welcher mit Stanniol überzogen ist. Der obere Deckel ist mit dem Conductor, der untere mit dem Boden in leitender Verbindung (Fig. 91 a. f. S.).

Eine Vorrichtung zum elektrischen Glockenspiel ist Fig. 92 (f. S.) abgebildet. An dem Drahte *a c*, welcher an dem Conductor der Maschine angehängt wird, hängt bei *a* ein Glöckchen an einem Seidenfaden, welches durch ein Kettchen mit dem Boden in leitender Verbindung steht, bei *c* aber ein zweites an einer Metallkette. Zwischen beiden in der Mitte hängt an einem Seidenfaden ein Messingkügelchen. Sobald die Glocke rechts elektrisch wird, zieht sie das Kügelchen an, um es abzustoßen, wenn es sich mit ihrer Elektricität geladen hat; das

abgestoßene Kügelchen fährt jetzt gegen die andere Glocke, giebt dort seine Elektricität ab und oscillirt in dieser Weise zwischen den Glocken hin und her.

Fig. 91.

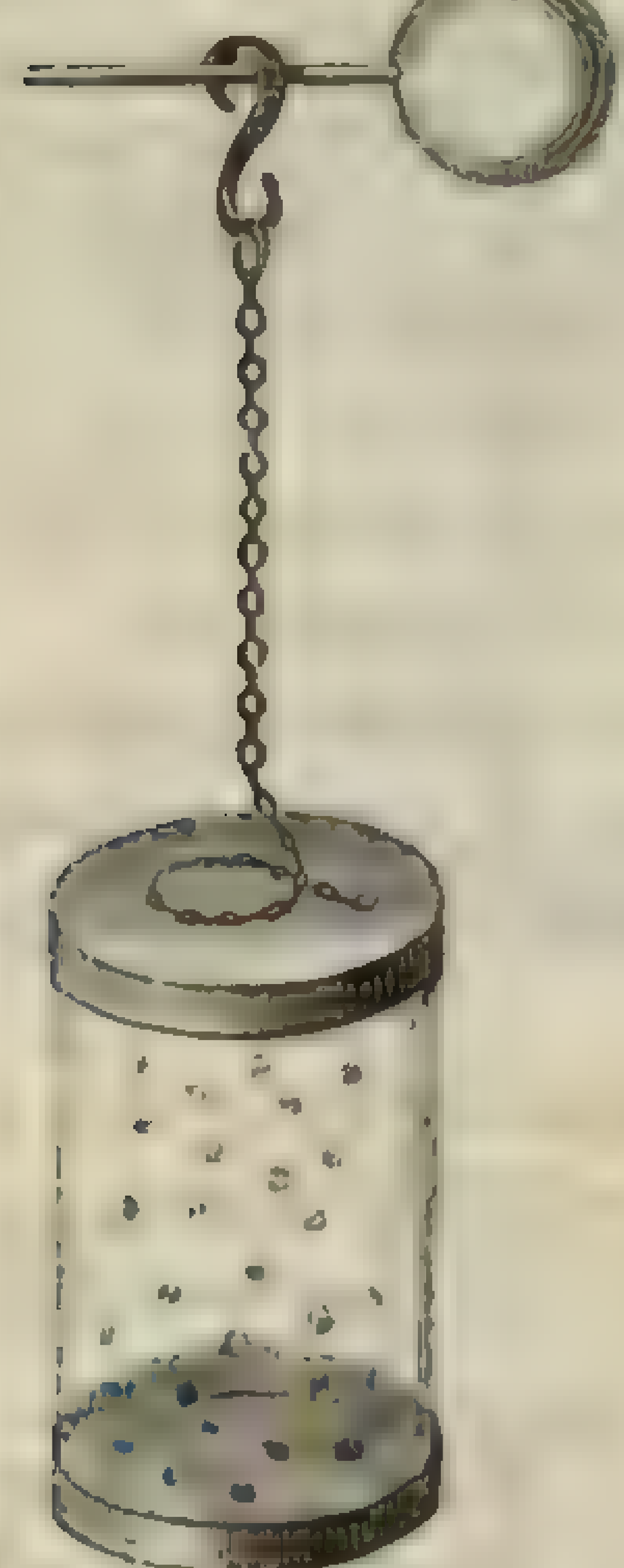


Fig. 92.

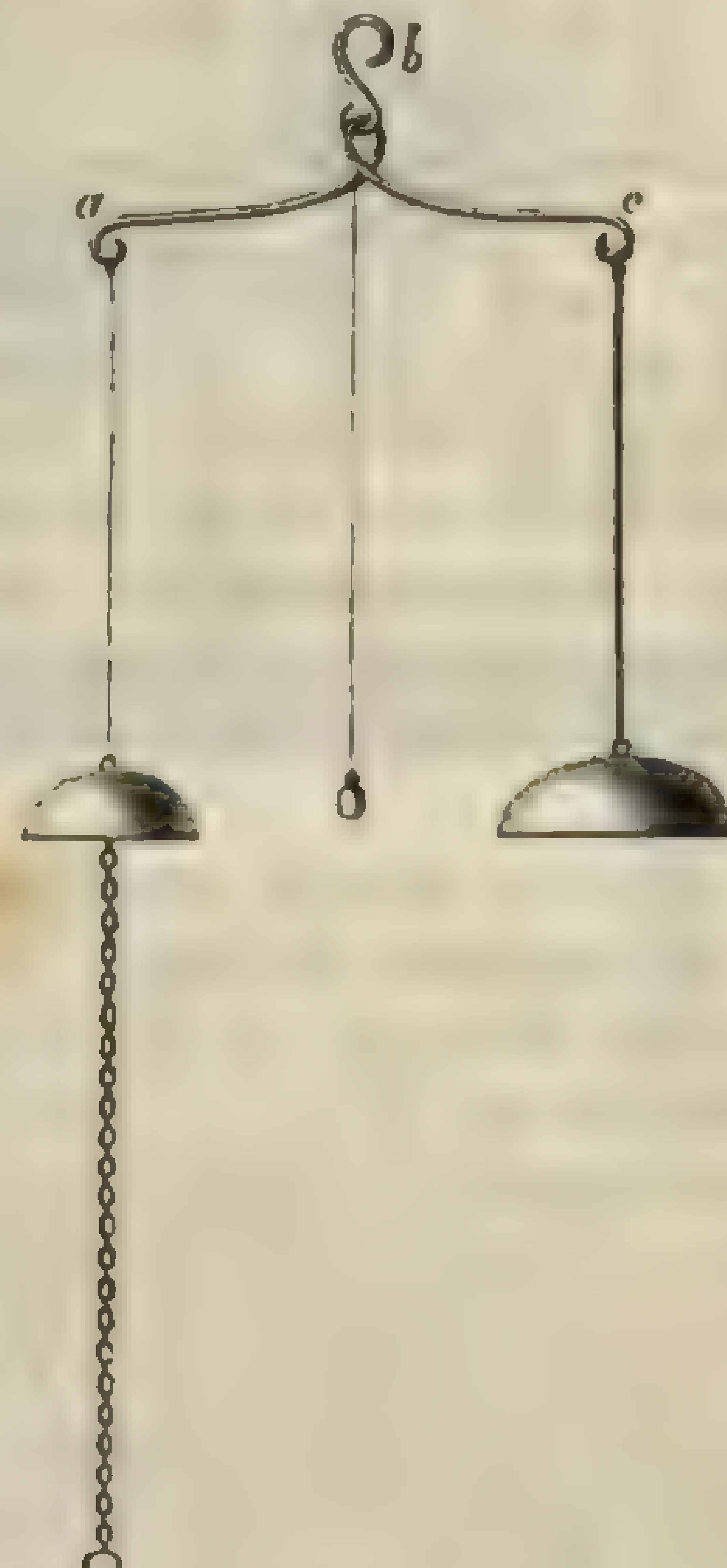


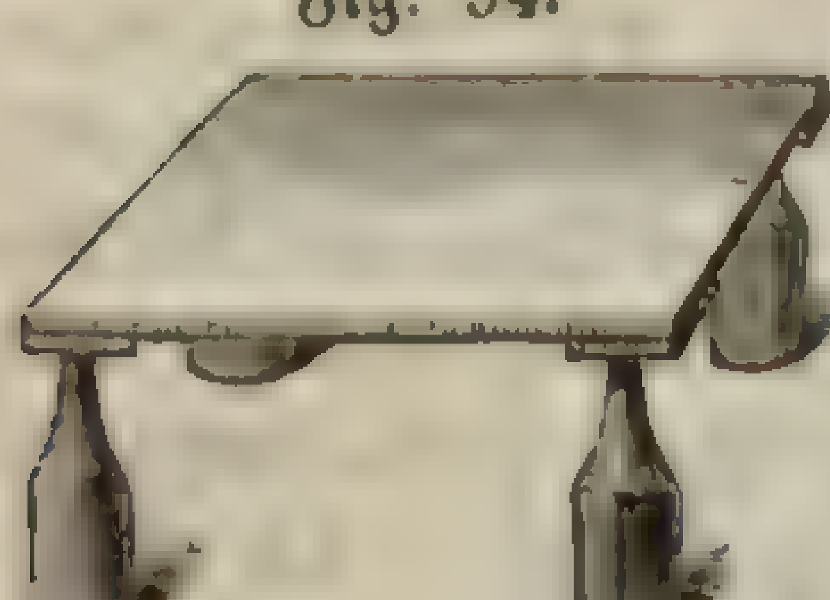
Fig. 93.



Die Abstoßung von Körpern, welche mit gleicher Elektricität geladen sind, kann man sehr schön mit Hülfe des Papierbüschels, Fig. 93, zeigen, den man auf den Conductor der Maschine aufsteckt. Auf einem leitenden Stäbchen ist oben ein leitendes Scheibchen befestigt, von dessen Rand eine Reihe 2—3 Linien breiter, 1 — 1½ Fuß langer Streifchen von dünnem Papier herabhängen. Sobald die Maschine gedreht wird, gehen die Streifchen wie ein Schirm auseinander.

Die Haare auf dem Kopfe zeigen eine ähnliche Erscheinung, wenn man sich auf den Isolirschemel, d. h. auf ein durch Glasfüße getragenes Brett (man kann auch ein durch 4 Champagnerflaschen getragenes Brett, Fig. 94, nehmen) stellt und den Conductor der Maschine mit der Hand berührt. Sobald die Maschine gedreht wird, sträuben sich die Haare, sie fallen zusammen, so oft man aus dem Conductor oder dem menschlichen Körper selbst einen Funken zieht.

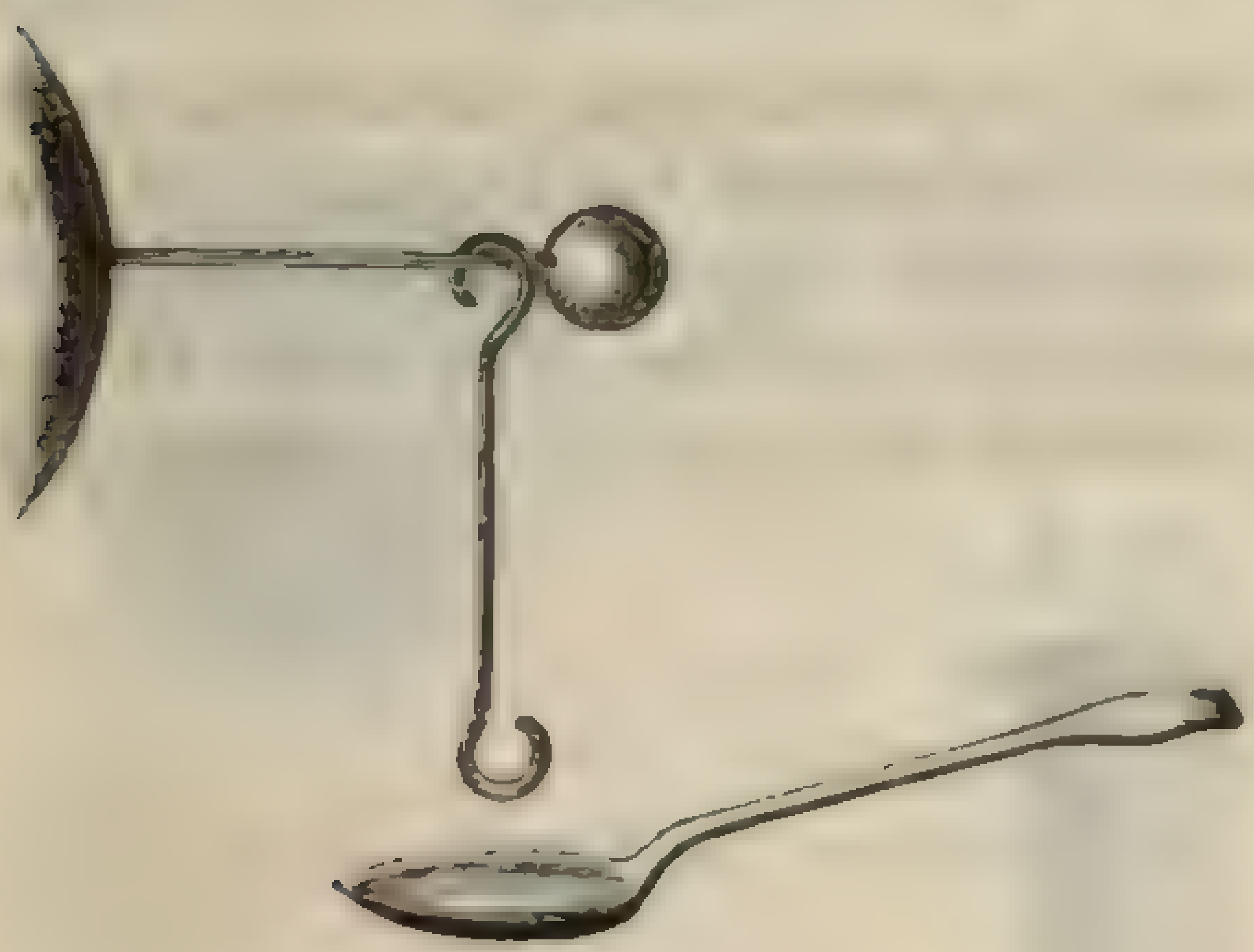
Fig. 94.



Daß schon schwache elektrische Funken Knallgas entzünden, haben wir bereits gesehen. Der einfache Funken der Elektrisirmaschine kann aber auch Wein-

geist, noch leichter Aether entzünden. Fig. 95 erläutert ein ganz einfaches Verfahren, um mittelst des elektrischen Funkens Aether zu entzünden, der sich in einem metallenen Löffel befindet.

Fig. 95.



Dampfelektrisirmaschine. Vor einigen Jahren machte der Engländer Armstrong eine eben so interessante als wichtige Entdeckung bekannt. Man hatte ihn benachrichtigt, daß in der Nähe von Newcastle beim Ausströmen des Dampfes aus einer Fuge in der Nähe des Sicherheitsventils eine ungewöhnliche elektrische Erscheinung beobachtet worden sey; als nämlich der Maschinenwärter zufällig die eine Hand in den Dampfstrahl hielt und mit der andern nach dem Hebel des Ventils faßte, um die Belastung derselben zu ajüstiren, schlug ein Funken zwischen dem Hebel und seiner Hand über, während er zugleich einen starken elektrischen Schlag erhielt. 38

Armstrong fand diese Angaben bestätigt und beobachtete bald auch an andern Dampfkesseln ähnliche Erscheinungen.

Den ausströmenden Dampf fand er positiv elektrisch.

An einer Locomotive, welche auf eine isolirende Unterlage gestellt war, fand Armstrong, daß dieselbe eine starke Ladung negativer Elektricität erhielt, wenn man die positive Elektricität des ausströmenden Dampfes gehörig ableitete, und zwar so, daß man sehr kräftige Funken aus der Locomotive ziehen konnte.

Anfangs war man der Meinung, die Elektricitätsentwickelung möchte wohl durch die Dampfbildung oder seine nachherige Condensation veranlaßt werden, und hoffte, daß die neu entdeckte Erscheinung vielleicht zur Aufhellung des Dunkels beitragen möchte, in welches noch die Entstehung der atmosphärischen Elektricität gehüllt ist.

Nach späteren, namentlich von Faraday angestellten Versuchen ist jedoch wohl kein Zweifel mehr, daß die Quelle dieser Elektricität die Reibung des mit Gewalt ausströmenden Dampfes an den Rändern der Oeffnung ist.

Armstrong hat die beim Ausströmen des Dampfes frei werdende Elektricität zur Construction einer Elektrisirmaschine benutzt, welche er Hydroelektrisirmaschine nennt. Eine kolossale Maschine der Art hat er für das polytechnic Institution zu London anfertigen lassen.

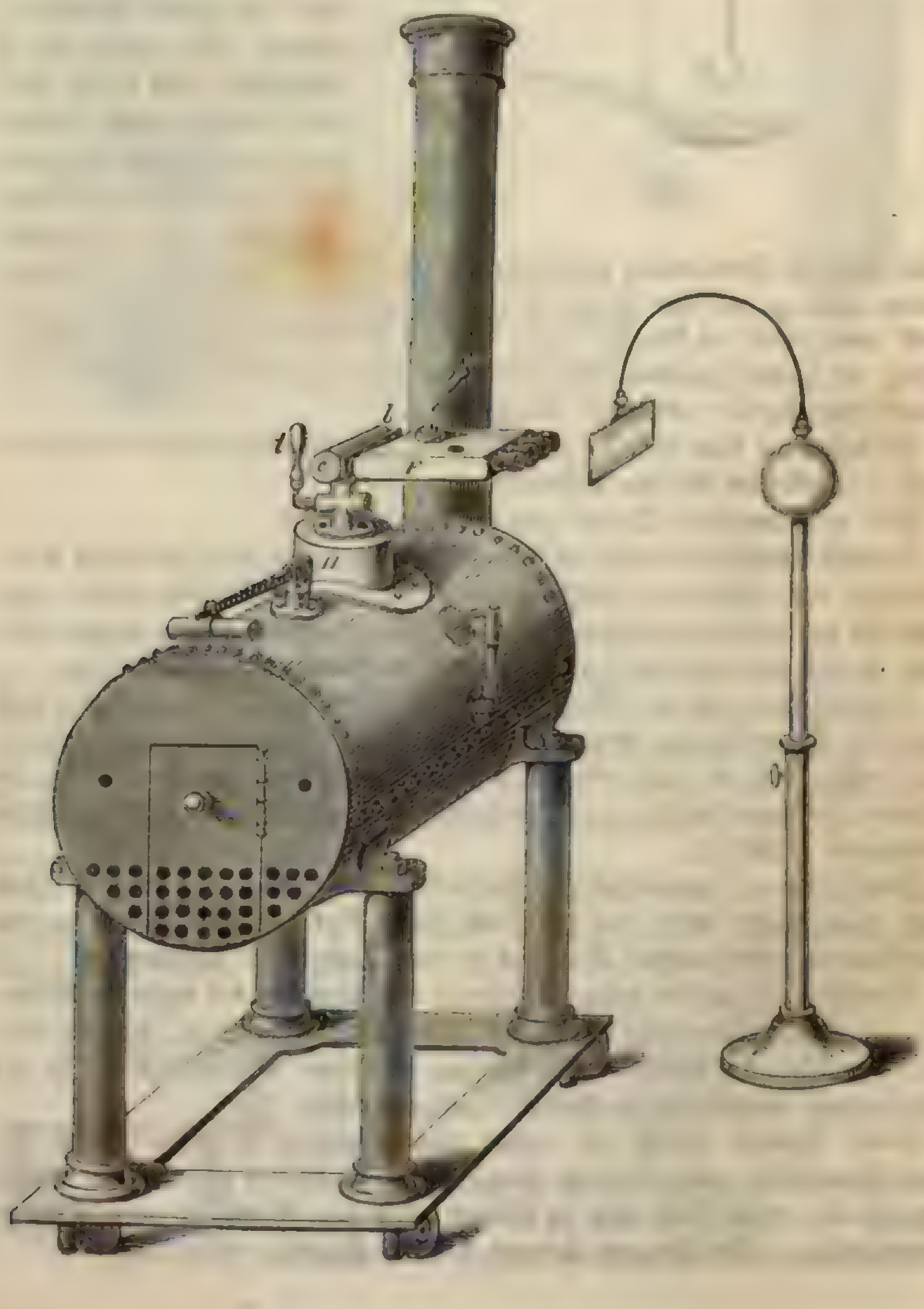
Dieser Apparat besteht aus einem cylinderförmigen Dampfkessel von $3^1/_2$ Fuß Durchmesser und $6^1/_2$ Fuß Länge. Der Feuerheerd ist im Kessel enthalten, und die erhitzte Luft wird in Röhren durch das Wasser zu einem Schornsteine geführt. Der Apparat ist durch 6 starke Glasfüße isolirt.

Der Dampf entweicht aus 46 durch Hähne verschließbaren Röhren, an deren Mündung eine Röhre von hartem Holze eingesetzt ist, wodurch die Wirkung sehr verstärkt wird.

Der Dampf strömt gegen eine Reihe von Metallspitzen, die mit dem Boden in leitender Verbindung stehen, um die Elektricität des Dampfes abzuleiten. Aus dem Kessel konnten 22 Zoll lange Funken gezogen werden.

Fig. 96 stellt eine solche Dampfelektrisirmaschine dar, deren Kessel 44 Centimeter im Durchmesser hat und 96 Centimeter lang ist; die Zeichnung der-

Fig. 96.



selben verdanke ich der Güte des Herrn Professors Eisenlohr in Karlsruhe. Die Feuerung ist Innen angebracht, wie man aus dem Durchschnitt Fig. 97 ersieht.

Fig. 97.

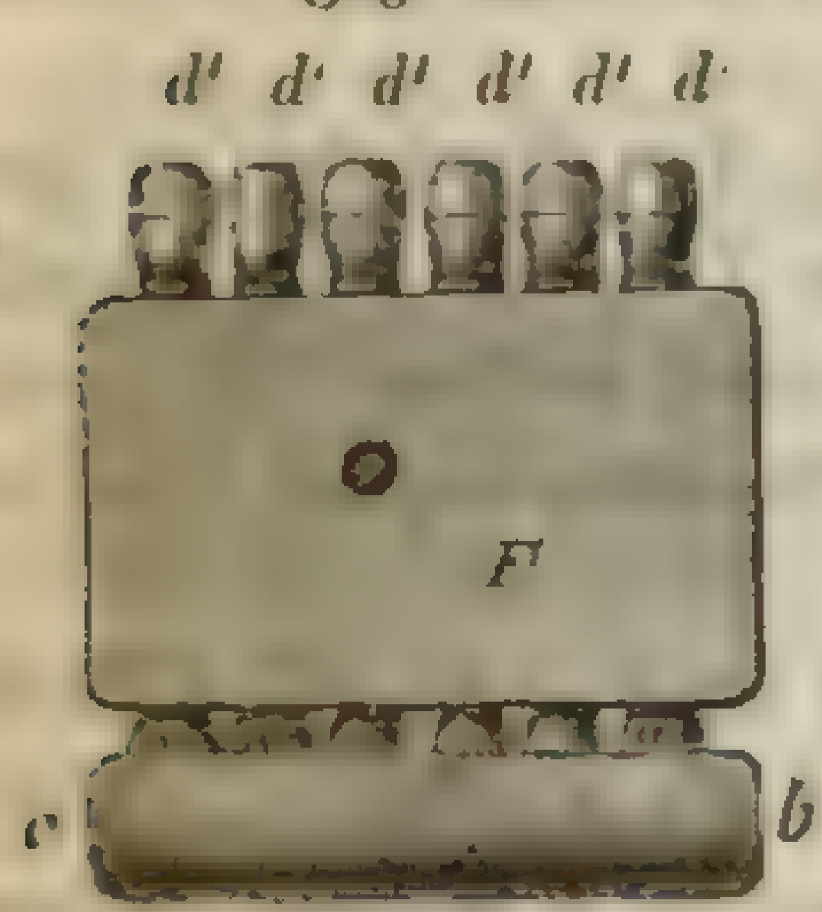


Oben auf dem Dampfkessel befindet sich ein Hut, auf welchem ein kurzes durch einen Hahn verschließbares Messingrohr befestigt ist; auf dieses kurze Rohr können dann die Ausströmungsöffnungen aufgeschraubt werden, die alsbald näher beschrieben werden sollen.

Vor dem Hute sieht man ein Sicherheitsventil, dessen Gewicht verschiebbar ist und welches so weit herausgerückt werden kann, daß der Dampf einen Druck von 90 Pfund auf den Quadratzoll ausüben muß, um das Ventil zu heben.

Auf der rechten Seite des Dampfkessels ist ein Glasrohr angebracht, welches oben und unten mit dem Kessel in Verbindung steht, so daß man an diesem Rohre gerade so wie bei Locomotiven den Wasserstand sehen kann.

Fig. 98.



In Fig. 98 ist der auf den Kessel aufgeschraubte Apparat mit den Ausströmungsöffnungen besonders abgebildet, und zwar von oben gesehen. Auf den Hals des Dampfkessels wird ein gußeisernes Rohr *b c* von ungefähr 24 Centimeter Länge und 5 Centimeter Durchmesser aufgeschraubt. Aus diesem Rohre tritt dann der Dampf durch 6 horizontale Röhren *d d'* aus, welche durch einen Kasten von Messingblech hindurchgehen, der mit kaltem Wasser gefüllt ist, so daß ein Theil des durch die Röhren strömenden Dampfes condensirt wird, was die Wirkung sehr verstärkt.

Auf eine Oeffnung *o* im obern Deckel des Kastens *F* wird ein Messingrohr aufgesetzt, welches bei *n*, Fig. 96, in den Schornstein führt und durch welches die im Kasten *F* gebildeten Dämpfe entweichen.

Fig. 99.

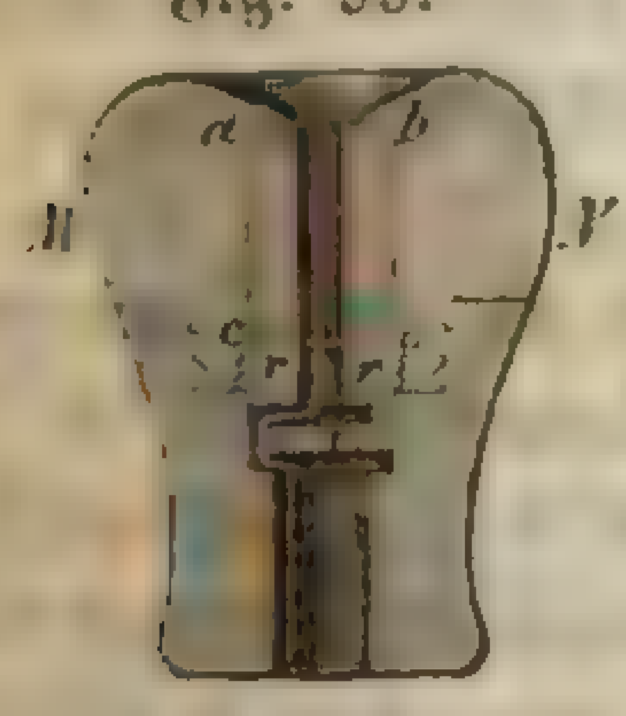


Fig. 99 stellt eine der in Fig. 98 mit *d'* bezeichneten Ausströmungsöffnungen im Durchschnitt und zwar in $\frac{1}{2}$ der natürlichen Größe dar. An das Ende des Rohres wird ein Messingstück *M N* eingeschraubt, in welchem ein Holzpflock *a b c d* steckt, welcher das Ende der Ausströmungsröhre bildet. Dieser der Länge nach durchbohrte Holzcylinder wird durch einen in das Messingstück *M N* eingeschraubten kurzen Messingcylinder *r* an seiner Stelle festgehalten. An diesem gleichfalls durchbrochenen Cylinder *r* ist vorn vor seiner Oeffnung eine Messingplatte so angebracht, daß der Dampf den durch den Pfeil bezeichneten Umweg machen muß, um in die Ausströmungsöffnung zu gelangen.

Wenn der Apparat Fig. 98 auf den Dampfkessel aufgeschraubt ist und der

Dampf die nöthige Spannkraft hat, wird durch eine Viertelumdrehung des Handgriffs *l*, Fig. 96, der Absperrhahn geöffnet, der Dampf strömt mit Gewalt aus den sechs Oeffnungen hervor, und alsbald wird auch der Kessel elektrisch. Der entweichende Dampf hat die entgegengesetzte Elektricität wie der Kessel; um aber eine möglichst starke Wirkung zu erhalten, muß die Elektricität des Dampfes möglichst abgeleitet werden; dies geschieht dadurch, daß man in den Dampfstrom eine Reihe von Metallspitzen stellt, welche an einem messingenen Stabe befestigt mit dem Boden in leitender Verbindung stehen. Dieser Stab steht auf einem Glasfuße, so daß man ihn isoliren kann, um zu zeigen, daß der Dampf in der That die entgegengesetzte Elektricität des Kessels hat.

Mit dieser Hydroelektrisirmaschine läßt sich eine Batterie von 36 Quadratfuß Oberfläche in Zeit von 30 Sekunden vollständig laden.

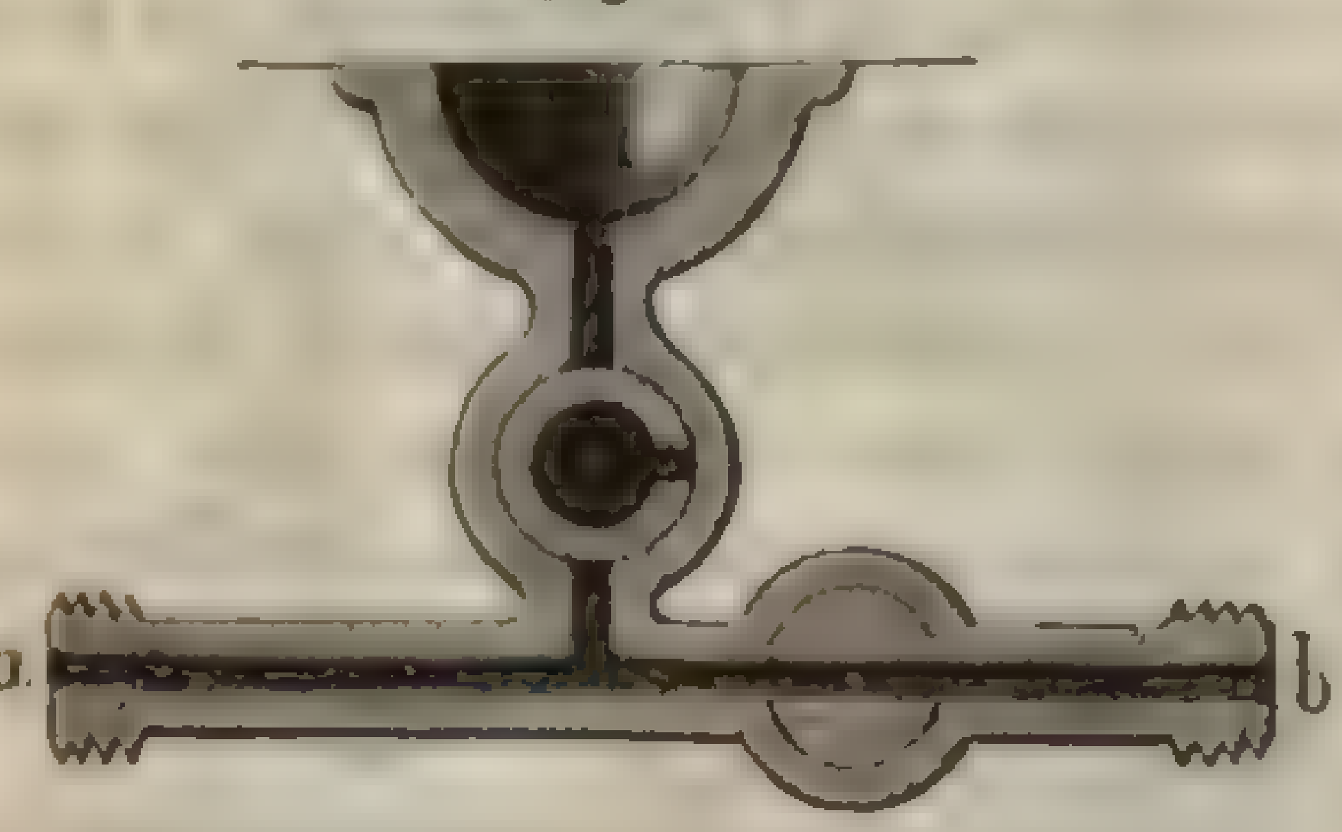
Zu wissenschaftlichen Versuchen über die Natur der hier erzeugten Elektricität hat man das Maximum der Wirkung gar nicht nöthig, man braucht nur eine einzige Ausströmungsöffnung anzuschrauben. Um diese anzuschrauben, gehen bei dem beschriebenen Apparate auf der rechten und linken Seite des Hutes *H* noch Röhren mit Hähnen hervor, die in unserer Zeichnung weggelassen sind. Man könnte diese Ausströmungsröhren wohl auch so einrichten, daß man sie bei *a* aufschrauben kann.

Daß die Elektricität hier wirklich durch die Reibung des Dampfes an den Wänden des Ausflußkanals und nicht etwa durch die Dampfbildung erzeugt wird, geht daraus hervor, daß augenblicklich alle Elektricität verschwindet, wenn man das Sicherheitsventil öffnet, obgleich die Dampfbildung ununterbrochen fortdauert.

Zur Erzeugung der Elektricität ist es wesentlich, daß schon condensirte Wassertheilchen durch den ausströmenden Dampf mit durch die Ausströmungsröhren durchgetrieben werden; deshalb der Condensationsapparat *F* Fig. 98. Wenn die Ausströmungsröhren lang genug sind, ist kein besonderer Abkühlungsapparat nöthig.

Wenn die Dampfmündung durch eine Holzröhre gebildet wird, wie es oben angegeben wurde, so ist der Kessel negativ, der Dampf positiv elektrisch; dasselbe ist der Fall bei Anwendung einer metallenen oder gläsernen Dampfmündung. Wendet man statt der hölzernen eine elfenbeinerne Röhre an, so zeigt der Kessel kaum Spuren einer Ladung.

Fig. 100.



Wenn man vor der Dampfmündung etwas Terpentinöl in die Ausströmungsröhre bringt, so wird der Kessel positiv und der Dampf negativ elektrisch. Um das Terpentinöl oder auch andere Flüssigkeiten bequem in die Ausströmungsröhre einbringen zu können, wendet man eine Vorrichtung an, welche durch Fig. 100 angedeutet ist. *a b* ist ein Stück des

Ausströmungsrohres; aus demselben geht eine Röhre vertikal in die Höhe, welche durch einen Hahn von eigenthümlicher Einrichtung geschlossen wird; er bildet nämlich eine Höhlung, welche nur nach einer Seite offen ist. Ueber diesem Hahn befindet sich eine trichterförmige Erweiterung, in welche die Flüssigkeiten eingegossen wird. Wie der Hahn in der Zeichnung steht, ist die Höhlung des Hahnes weder mit dem Trichter noch mit dem Rohr in Verbindung. Wird die Oeffnung des Hahnes nach oben gekehrt, so füllt sich seine Höhlung mit der Flüssigkeit aus dem Trichter; dreht man jetzt den Hahn um eine halbe Umdrehung, so muß jetzt die Flüssigkeit aus der Höhlung in das Rohr fallen.

Wenn durch Terpentinöl der Kessel positiv gemacht worden ist, so verliert sich dieser Zustand bald wieder, wenn nicht neues Terpentinöl eingebracht wird, und geht in den negativen über, sobald alles Terpentinöl weggerissen und verdampft ist. Fette Oele, wie Baumöl, bringen dieselbe Wirkung hervor, nur ist ihre Wirkung bleibender, weil sie nicht so flüchtig sind. Ein Holzfutter, durch welches einmal ein fettes Oel durchgeströmt ist, ist unbrauchbar, um den kräftigen negativen Zustand des Kessels wieder zu erzeugen, wie er entstehen würde, wenn der Dampf durch eine nicht fette Holzröhre ausströmte.

Bringt man durch den Hahn, Fig. 100, eine Salzlösung in die Ausströmungsröhre, so hört augenblicklich alle Elektricitätsentwickelung auf.

Alle diese Umstände beweisen, daß nur in der Reibung der ausströmenden Wasser- und Dampftheilchen an den Röhrenwänden und nicht in der Veränderung des Aggregatzustandes die Ursache der Elektricitätsentwickelung zu suchen sey.

Drittes Kapitel.

Von den elektrischen Kräften.

Die elektrischen Anziehungen und Abstoßungen verhalten sich wie die Dichtigkeiten der auf einander wirkenden Fluida, und umgekehrt wie das Quadrat der Entfernung. 39 Dieses Fundamentalgesetz der elektrischen Wirkungen ist wie das entsprechende Gesetz für die magnetischen Kräfte von Coulomb aufgestellt und bewiesen worden. Er wandte hier ganz ähnliche Mittel an, wie dort, nämlich die Drehwage und die Oscillationen einer kleinen elektrischen Nadel.

Man kann die Drehwage in der Gestalt Fig. 101 und in der Form Fig. 102 a. f. S. zu elektrischen Versuchen anwenden, nur muß man dafür sorgen, daß alle

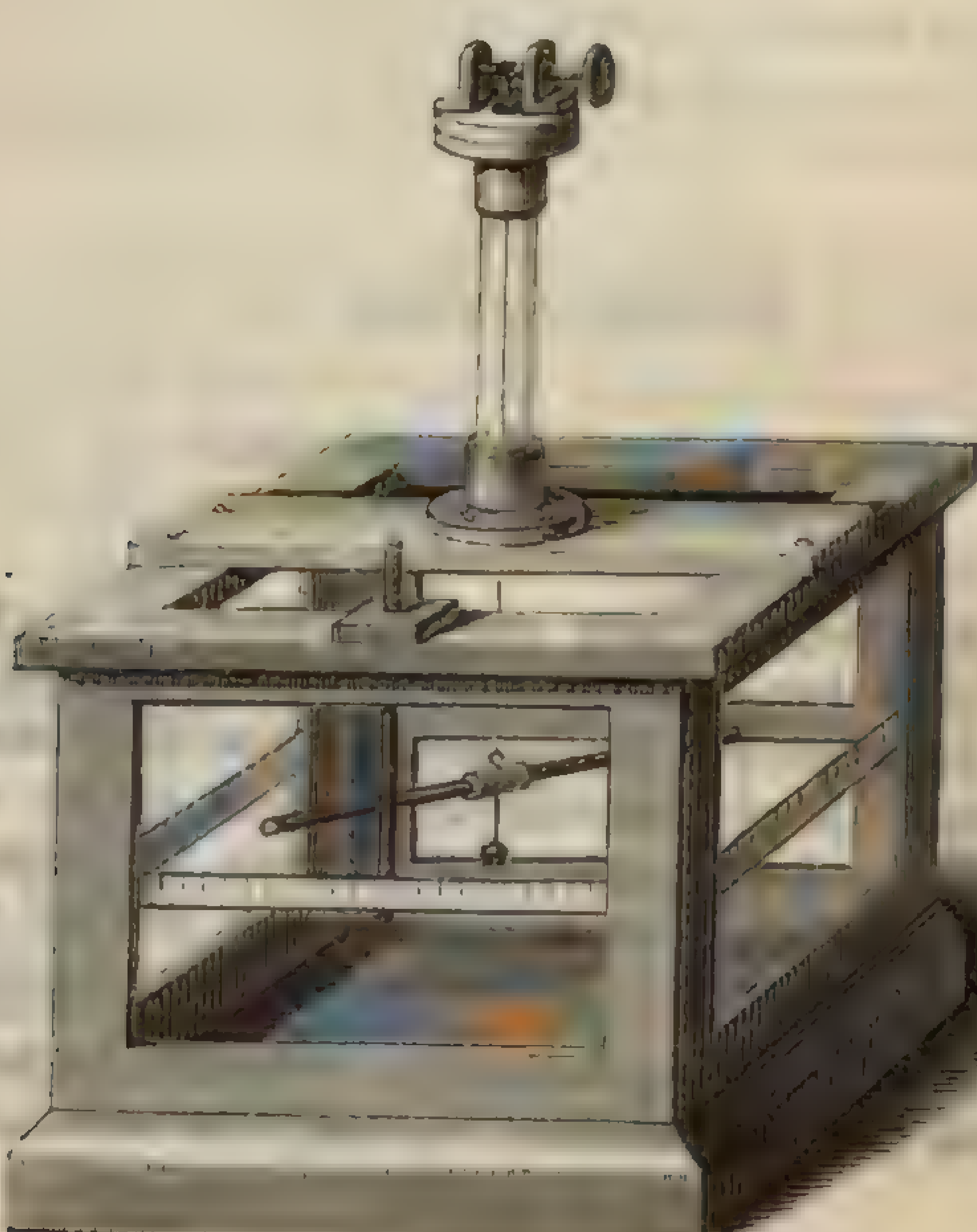
Wände möglichst gut isoliren. Dieser gleichfalls gut isolirende Deckel hat zwei Löcher, eins in der Mitte, über welchem die Röhre sich erhebt, und ein anderes auf der Seite, um die elektrisirten Körper in den Apparat hineinzubringen. Der Torsionskreis am oberen Theile der Röhre ist gerade so eingerichtet, wie zu den magnetischen Versuchen. Der Silber- oder Messingfaden, welcher in dem Rohre herunterhängt, trägt an seinem untern Ende eine leichte Nadel von Schellack, die sehr gut äquilibrirt seyn muß, und an einem Ende ein Kügelchen von Hollundermark oder ein Scheibchen von Blattgold trägt, welches 6 bis 8 Linien im Durchmesser hat. Auf den Boden setzt man ein Schälchen, in welchem sich einige Stücke Chlorcalcium befinden, welche dazu dienen, die Luft im Innern trocken zu erhalten.

Fig. 101.



Um mit diesem Apparate das Gesetz der elektrischen Abstoßung zu beweisen, ertheilt man der Scheibe oder dem Kügelchen der horizontalen Schellacknadel

Fig. 102.



eine bestimmte Elektricität und bringt dann ein mit derselben Elektricität geladenes Scheibchen oder Kügelchen, welches am untern Ende eines vertikal gehaltenen Schellackstäbchens befestigt ist, wie Fig. 101 zeigt, in den Apparat. Der Torsionskreis muß anfänglich so gestellt seyn, daß, bevor ein elektrisirter Körper in den Apparat gebracht wird, das eine Ende der horizontalen Schellacknadel, welches das Scheibchen oder Kügelchen trägt, an der Stelle sich befindet, welche nachher das untere Ende des von oben eingeschobenen Schellackstabes einnimmt. Bei dieser Stellung ist die horizontale Schellacknadel nach dem Nullpunkte der Theilung gerichtet. Sobald nun das Scheibchen, welches unten am vertikalen Schellackstabe sich befindet, mit derselben Elektricität geladen ist, wie das Scheibchen der horizontalen Nadel, so findet eine Abstoßung Statt, deren Stärke auf dieselbe Weise gemessen werden kann, wie bei den entsprechenden magnetischen Versuchen.

Um zu beweisen, daß die elektrischen Abstoßungen sich verhalten wie die Dichtigkeit der auf einander wirkenden elektrischen Flüssigkeiten, muß man ein Princip anwenden, welches schon für sich selbst einleuchtend ist: daß nämlich auf zwei leitenden, isolirten und vollkommen gleichen Kugeln sich die Elektricität, die sich auf ihnen befindet, ganz gleichförmig vertheilt, wenn man sie in Berührung bringt. Wäre z. B. vor der Berührung nur die eine der beiden Kugeln elektrisirt gewesen, die andere nicht, so wird bei der Berührung die erstere die Hälfte ihrer E verlieren. Nachdem man zuerst die Torsionskraft bestimmt hat, welche der abstoßenden Kraft zwischen der Kugel der horizontalen Nadel und der des eingeschobenen Stabes für eine bestimmte Entfernung das Gleichgewicht hält, berührt man die Kugel des Stabes mit einer vollkommen gleichen, auf dieselbe Weise isolirten, nicht elektrischen Kugel. Die auf diese Weise berührte Kugel verliert die Hälfte ihrer Elektricität, und um nun wieder gleiche Ablenkung der horizontalen Nadel zu erhalten, darf die Torsion des Fadens nur halb so groß seyn, als vor der Berührung. Nimmt man auf dieselbe Weise der einen Kugel wieder die Hälfte ihrer Elektricität, so wird die abstoßende Kraft abermals um die Hälfte vermindert u. s. w. Nimmt man zu gleicher Zeit jeder der beiden Kugeln in der Drehwage die Hälfte ihrer Elektricität, so ist die Wirkung zwischen beiden 4mal schwächer als vorher.

Coulomb hat dieselben Gesetze mit derselben Schärfe auch nachgewiesen, indem er eine kleine Nadel von Schellack, die an einem Seidenfaden horizontal aufgehangen war und an ihrem einen Ende ein Scheibchen von Blattgold trug, welches elektrisirt wurde, unter dem Einflusse einer elektrisirten isolirten Kugel oscilliren ließ. Ist die Kugel und das Scheibchen mit derselben Elektricität geladen, so bildet das Scheibchen das der Kugel abgewendete Ende des elektrischen Pendels; sind aber die Elektricitäten des Scheibchens und der Kugel entgegengesetzt, so ist das Scheibchen der Kugel zugewendet. Aus den Oscillationen des elektrischen Pendels kann man auf die dasselbe beschleunigenden Kräfte in ähnlicher Weise schließen, wie wir bei den magnetischen Oscillationen gesehen haben, nur ist hier die Wirkung zwischen der Kugel und der Scheibe die einzige Ursache der Oscillationen, während wir

dert noch die Wirkungen des Erdmagnetismus auf die Nadel in Rechnung bringen mußten. Berücksichtigt man, daß die Intensitäten der auf das elektrische Pendel wirkenden Kräfte sich unter einander verhalten wie die Quadrate der Zahl der Oscillationen, welche unter ihrem Einflusse die Nadel in gleichen Zeiten macht, so folgt aus diesen Versuchen, daß die elektrische Wirkung im umgekehrten Verhältnisse des Quadrats der Entfernung abnimmt.

40 **Allmäliger Verlust der Elektricität.** Wenn ein elektrischer Leiter noch so gut isolirt ist, so verliert er doch nach und nach seine Elektricität, sie zerstreut sich in der Luft oder geht in den Boden über. Da sich nun ein solcher Verlust nicht vermeiden läßt, so muß man doch bei genauen Versuchen dafür sorgen, daß er möglichst langsam vor sich gehe, daß er regelmäßig und meßbar werde, damit man ihn in Rechnung bringen kann. Ohne dies ist eine genaue Messung und Vergleichung elektrischer Kräfte ganz unmöglich.

Der Verlust durch die isolirenden Träger findet theils durch ihre Substanz, theils durch eine dünne Feuchtigkeitsschicht Statt, mit welcher sie sich überziehen. Dieses letztere findet besonders bei Glas und Seide Statt, auf welche sich der Wasserdampf sehr leicht niederschlägt. Es ist deshalb immer nöthig, Glasoberflächen, die gut isoliren sollen, mit einer Schicht von Schellackfirniß zu überziehen. Nach Coulomb's Versuchen isolirt ein so überzogener Glasstab, ebenso wie eine Schellackstange, schwache Ladungen vollkommen, wenn er 15 bis 20 Zoll lang ist. Man muß freilich durch Erwärmen dafür sorgen, daß alle Feuchtigkeit vollkommen entfernt sey. Da solche Träger nur dann vollständig isoliren, wenn sie eine hinreichende Länge haben, so ist klar, daß sie selbst eine gewisse elektrische Ladung annehmen, und man begreift wohl, daß eine stärkere Ladung, die gleichartige Elektricität mit großer Kraft abstoßend, sie bis an das Ende des isolirenden Trägers treibt und sie nöthigt, langsam und continuirlich in den Boden überzuströmen. Daß ein Leiter durch seine Träger vollständig isolirt sey, erkennt man daran, daß er mit mehreren derselben in Berührung gebracht, nicht mehr verliert, als wenn er nur von einem einzigen getragen wird. Aller Verlust, welchen er alsdann erleidet, rührt nur von der Berührung mit der Luft her.

Der Verlust durch die Luft rührt größtentheils von dem in der Luft enthaltenen Wasserdampfe her, denn er nimmt mit der Feuchtigkeit der Luft zu. Es ist dies so auffallend, daß, wenn man über eine elektrische Glasröhre oder einen Harzstab hinbläſt, diese alle Elektricität verlieren. Ebenso verhält es sich, wenn man nach einem isolirten Leiter bläſt, nur darf man natürlich diesem nicht zu nahe kommen, weil sonst ein Funken überspringt. Wahrscheinlich aber rührt nicht aller Verlust, den ein elektrisirter Körper in der Luft erleidet, nur von der Gegenwart des Wasserdampfes her, denn selbst in einer Luft, welche durch Chlorcalcium vollständig getrocknet ist, findet ein solcher Verlust Statt, wie die Versuche mit der Drehwage zeigen. Nehmen wir z. B. an, daß die beiden Kügelchen durch eine Drehung von 250° des obern Mikrometers in einer Entfernung von 20° gehalten werden, so ist die Torsionskraft, welche der abstoßenden Kraft das Gleichgewicht hält, $250^0 + 20 = 270^0$.

Nach und nach aber nähern sich die Kügelchen, und man muß, nach einer Minute etwa, die Torsion um 6° verringern, um die Entfernung von 20° wieder zu erhalten. In einer Minute war also der Verlust an Elektricität entsprechend einer Torsion von 6°. Zu Anfang der Minute war die elektrische Kraft gleich einer Torsion von 270°, am Ende derselben gleich 264°; die mittlere elektrische Kraft während dieser Minute war also $\frac{270 + 264}{2} = 267°$. In einer Minute betrug also der Verlust $\frac{6}{267}$ oder $\frac{1}{44}$ der mittleren elektrischen Kraft.

Auf diese Weise hat Coulomb genau den elektrischen Verlust in der Luft ermittelt. An trockenen Tagen war er $\frac{1}{60}$ bis $\frac{1}{70}$ der mittleren Kraft für jede Minute, an feuchten Tagen betrug er oft $\frac{1}{20}$; unter solchen Umständen sind genaue Versuche nicht möglich. Wenn in der Atmosphäre wenige Veränderungen vorgehen, seyen es nun Veränderungen der Wärme oder der Windrichtung, so bleibt der Verlust durch die Luft den ganzen Tag über fast derselbe.

Auch den elektrischen Verlust eines außerhalb der Drehwage befindlichen isolirten Leiters kann man mit der Drehwage messen. Man berührt ihn an einer bestimmten Stelle mit einem Probescheibchen und bringt dieses in die Drehwage, deren horizontale Nadel sich noch im natürlichen Zustande befindet. Anfangs wird sie angezogen, berührt das Probescheibchen, ladet sich mit seiner Elektricität und wird dann abgestoßen. Die Stärke der Abstoßung wird auf die bekannte Art gemessen. Will man sehen, wieviel die elektrische Ladung des isolirten Leiters nach einer bestimmten Zeit abgenommen hat, so muß man vorerst die Nadel der Drehwage wieder in den natürlichen Zustand versetzen und dann den Versuch ganz auf dieselbe Weise wiederholen.

Vertheilung der Elektricität auf der Oberfläche leitender Körper. 41

So lange ein Körper sich im natürlichen Zustande befindet, d. h. so lange die beiden elektrischen Fluida noch verbunden sind, sind sie wahrscheinlich ganz gleichförmig in der ganzen Masse der Körper vertheilt. Sobald aber die eine Flüssigkeit von der anderen getrennt, sobald ein Leiter mit freier Elektricität geladen ist, wirken die einzelnen Elemente dieser freien Elektricität abstoßend auf einander und entfernen sich deshalb so weit von einander als nur irgend möglich, bis sie durch irgend ein Hinderniß aufgehalten werden. Ein vollkommen leitender Körper kann in seinem Innern dieser Dispersion kein Hinderniß entgegensetzen; die Elektricität verbreitet sich deshalb auf seiner Oberfläche und würde sich noch weiter zerstreuen, wenn sich der Körper in einem für die Elektricität leicht durchdringlichen Raume befände. Die Elektricität verbreitet sich also stets auf der Oberfläche der Leiter und wird auf derselben durch die Luft zurückgehalten, welche sie gleichsam wie eine nichtleitende Schicht umgiebt.

Daß die freie Elektricität sich nur auf der Oberfläche der Körper, und nicht im Innern derselben, verbreitet, beweisen auch folgende Versuche.

Man elektrisire zwei vollkommen gleiche, isolirte, metallene Kugeln, *a* und *b*, während sie mit einander in Berührung sind, so wird sich die Elektricität gleichförmig über beide verbreiten. Man trenne sie nun, berühre die Kugel *a*

mit einer isolirten Hohlkugel, *b* mit einer ebenso großen isolirten massiven Kugel, so wird man mit Hülfe des Probescheibchens finden, daß *a* und *b* gleichviel Elektricität verloren haben, die massive Kugel hat also nicht mehr Elektricität weggenommen als die gleich große Hohlkugel.

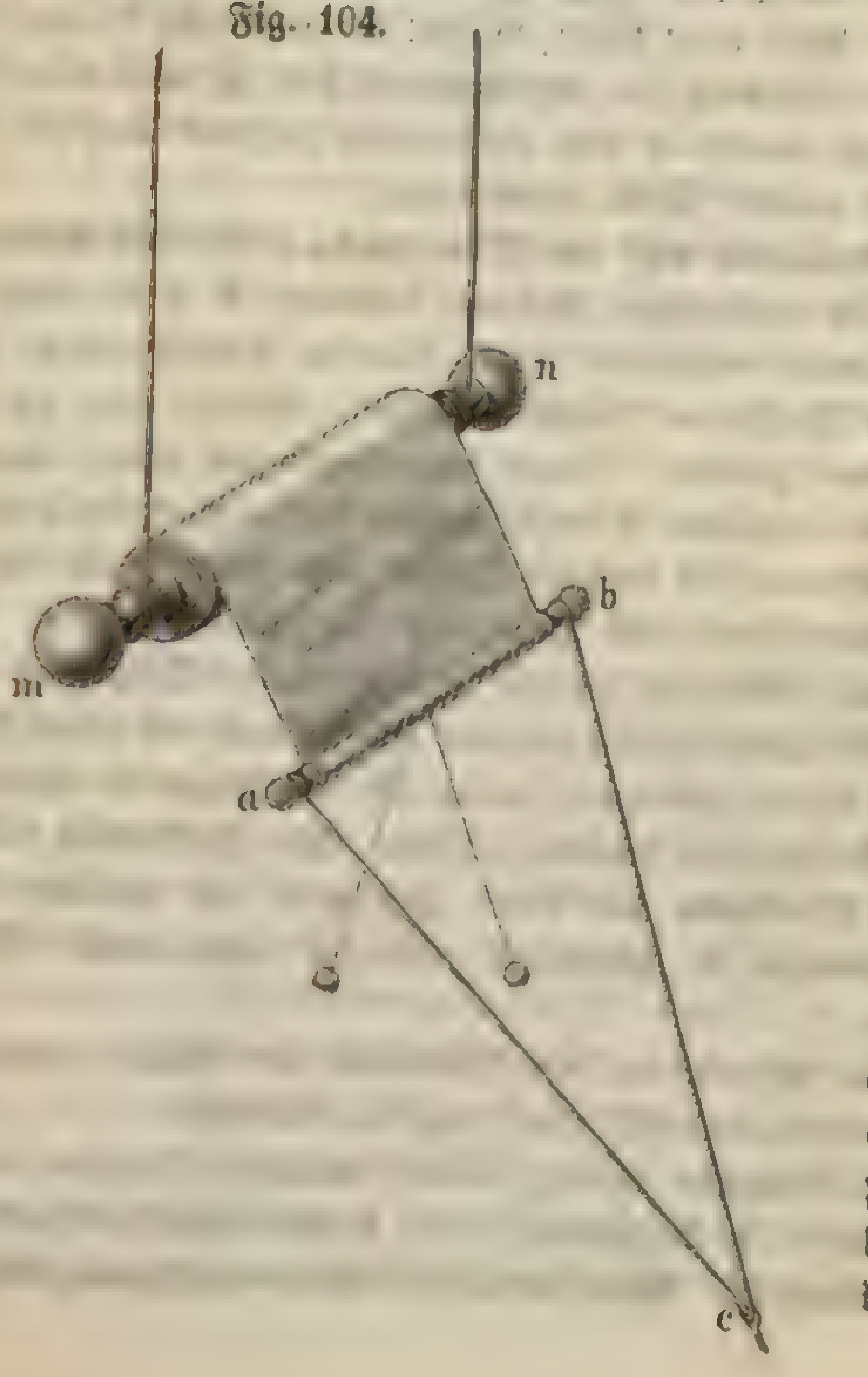
Fig. 103.



Eine isolirte Kugel von Messingblech, welche mit einer Höhlung versehen ist, wie man Fig. 103 im Durchschnitt sieht, werde durch einen Funken der Elektrisirmaschine geladen. Berührt man nun die Kugel an irgend einer Stelle mit dem Probescheibchen, so nimmt dieses die Ladung dieser Stelle an. Berührt man aber mit dem Probescheibchen den Boden der Höhlung, so nimmt es hier gar keine elektrische Ladung an; am Boden dieser Höhlung, also im Innern der Kugel, befindet sich demnach keine freie Elektricität, dieselbe ist nur auf der Oberfläche der Kugel verbreitet.

Daraus erklärt sich auch der Vortheil, den es bringt, wenn eine zu isolirende Kugel an der Stelle, wo sie auf den Glasstab aufgesetzt ist, eine eingezogene Form hat, wie es Fig. 86 und Fig. 103 zeigen. Auch der folgende Versuch zeigt, daß sich die Elektricität auf der Oberfläche der Körper verbreitet.

Fig. 104.



Ein Metallcylinder *m n*, auf beiden Seiten mit etwas dünneren, in Knöpfen endigenden Fortsätzen versehen, hängt, wie Fig. 104 zeigt, an zwei seidenen Schnüren. Auf den mittleren dickeren Theil dieses Cylinders ist seiner ganzen Breite nach ein ungefähr 1 Fuß langer Streifen von echtem Goldpapier aufgeklebt, dessen freies Ende an ein Glasstäbchen *a b* befestigt ist. Dieser Goldpapierstreifen ist mehrmals um den Metallcylinder herumgewickelt. Zieht man an den Schnüren *c a* und *c b*, so wird sich der Papierstreifen von dem Cylinder abwickeln, während dadurch gleichzeitig die

Schnüre, an denen der Cylinder hängt, aufgewunden werden, wodurch der Cylinder selbst gehoben wird. Läßt man bei *c* wieder nach, so sinkt der Metallcylinder von selbst durch sein Gewicht herab, wodurch dann der Goldpapierstreifen wieder aufgewickelt wird.

In der Mitte von *a b* hängt ein elektrisches Pendelpaar, Hollundermarkkügelchen an leinenen Fäden. Ist das Goldpapier ganz aufgewickelt, so werden die Pendel divergiren, wenn man dem Apparat eine elektrische Ladung ertheilt. Zieht man jetzt bei *c*, so daß der Streifen abgewickelt wird, so vermindert sich die Divergenz der Pendel, weil sich jetzt die Elektricität auf einer größeren Oberfläche verbreitet. Läßt man bei *c* nach, so wird die metallische Oberfläche durch das Aufwickeln des Streifens wieder verkleinert und die Pendel gehen wieder mehr auseinander.

Elektrisirt man eine isolirte Kugel, so erfordert schon das Gesetz der Symmetrie, daß sich die Elektricität auf der ganzen Oberfläche gleichförmig verbreitet, daß sie eine Schicht bildet, welche überall gleiche Dichtigkeit hat. Aber auch durch den Versuch kann man sich davon überzeugen, daß es wirklich so ist. Berührt man nämlich die elektrisirte Kugel an irgend einer Stelle mit einem Probescheibchen, so bildet dasselbe hier gleichsam ein Element der Kugeloberfläche, und es verbreitet sich auf dem Probescheibchen gerade so viel Elektricität, als sich auf dem bedeckten Kugelstücke befand; hebt man nun das Scheibchen ab, so kann man die Stärke seiner elektrischen Ladung mit Hülfe der Drehwage bestimmen. An welcher Stelle der Kugel man aber auch das Probescheibchen aufsetzen mag, überall erhält es eine gleich starke Ladung.

Anstatt die Stärke der Ladung, welche das Probescheibchen annimmt, mit der Drehwage zu messen, kann man auch das Elektrometer Fig. 76 anwenden, und aus der Divergenz der Goldblättchen, welche man erhält, wenn man die Platte des Elektrometers mit dem Probescheibchen berührt, auf die Stärke seiner Ladung schließen. Wo man auch die Kugel mit dem Probescheibchen berührt haben mag, man erhält gleiche Divergenz der Goldblättchen.

Wenn der isolirte Leiter, den man elektrisirt, nicht kugelförmig ist, so findet auch keine gleichmäßige Vertheilung der Elektricität Statt, d. h. die elektrische Schicht, welche sich über den Körper verbreitet, hat nicht überall gleiche Dichtigkeit. Untersucht man mit Hülfe eines Probescheibchens die Dichtigkeit der

Fig. 105.



Elektricität an verschiedenen Stellen eines Cylinders, Fig. 105, mit abgerundeten Enden, so findet man, daß die Dichtigkeit der Elektricität an den Enden weit größer ist als in der Mitte. Bei einem Cylinder dieser Art, welcher 8 Zoll lang war und 2 Zoll Durchmesser hatte, verhielten sich die Intensitäten in der Mitte, 2 Zoll vom Ende, 1 Zoll vom Ende und am Ende selbst wie 1 : 1,25 : 1,8 : 2,3. Von der Mitte ausgehend, ändert sich also anfangs die Intensität nur wenig, nimmt aber nahe an den Enden in einem raschen Verhältniß zu. Noch weit stärker wird das Pro-

beſcheibchen geladen, wenn man es ſo an das Ende des Cylinders hält, daß ſeine Fläche nicht auf dem Cylinder aufliegt, ſondern daß ſeine Ebene in die Verlängerung der Cylinderaxe fällt. Ganz ähnliche Reſultate erhält man, wenn man den elektriſchen Zuſtand einer Scheibe, etwa eines Elektrophordeckels, unterſucht.

Daß eine ſolche Vertheilung der Elektricität auf der Oberfläche von Körpern ſtattfinden müſſe, welche nach verſchiedenen Richtungen hin ungleiche Ausdehnung haben, läßt ſich auch ſchon durch eine einfache Betrachtung einſehen. Wenn ſich auf der Oberfläche eines iſolirten Leiters freie Elektricität verbreitet, ſo bleiben doch die Theilchen im Innern in ihrem natürlichen Zuſtande. Ein Element der Oberfläche wirkt aber zerſetzend auf die noch verbundenen Elektricitäten eines Theilchens im Innern, es zieht die ungleichnamige E an und ſtößt die gleichnamige ab, es würde alſo eine Zerſetzung erfolgen, wenn nicht von dem diametral gegenüberliegenden Element der Oberfläche eine ganz gleiche Wirkung im entgegengeſetzten Sinne ausgeübt würde. Es ſey a (Fig. 106) ein Punkt im Innern einer elektriſirten Kugel. Ziehen wir durch a irgend eine gerade Linie, ſo trifft dieſe die Kugeloberfläche in zwei Punkten, b und c. Denken wir uns nun eine Linie df, welche mit bc einen kleinen Winkel macht, um die Axe bc umgedreht, ſo entſtehen zwei Kegel, welche mit ihren Spitzen in a zuſammentreffen, und deren Grundflächen zwei Stückchen der Kugeloberfläche ſind, die in unſerer Figur freilich nur als Linien, dbg und hcf, erſcheinen. Man ſieht

Fig. 106.



nun leicht ein, daß, wenn die Kugel elektriſirt iſt und ſich die Elektricität im Zuſtande des Gleichgewichts befindet, daß dann die über das Flächenſtück dg verbreitete Elektricität die Wirkung aufheben müſſe, welche die auf dem Flächenſtück hf befindliche auf den Punkt a ausübt. Nun aber ſind die Entfernungen ab und ac nicht gleich, dg liegt weiter von a als hf, wenn alſo die Wirkungen gleich ſeyn ſollen, ſo muß ſich auf dem Flächenſtück dg mehr Elektricität befinden als auf hf, und zwar müſſen ſich die Mengen der Elektricität auf dg und hf verhalten wie die Quadrate von ab und ac. Wäre z. B. ac halb ſo groß wie ab, ſo müßte auf dem Flächenſtück dg 4mal ſo viel Elektricität verbreitet ſeyn als auf hf. Nun aber verhalten ſich die Flächenſtücke dg und hf ſelbſt wie die Quadrate von ab und ac, d. h. in unſerm Falle iſt die Fläche dg 4mal ſo groß als die Fläche hf. Wenn aber auf einer Fläche, welche 4mal ſo groß iſt als eine andere, 4mal ſo viel Elektricität verbreitet iſt als auf dieſer, ſo iſt klar, daß die Dichtigkeit der Elektricität auf beiden Flächen gleich groß ſeyn müſſe.

Wenden wir daſſelbe Raiſonnement auf einen nicht kugelförmigen Körper an. Die Elektricität auf dem Flächenſtück dg, Fig. 107, die wir mit M bezeichnen wollen, und die auf dem Flächenſtück hf, die mit m bezeichnet ſeyn mag, werden auf den Punckt a gleiche und entgegengeſetzte Wirkungen hervorbringen; wenn ſich M und m verhalten wie ab^2 zu ac^2. Wenn ſich nun die Flächenſtücke dg und hf ebenfalls verhielten wie ac^2 zu ac^2, ſo würde

daraus folgen, daß die Dichtigkeit der E auf beiden gleich groß wäre. Dies ist aber nicht der Fall; das Flächenstück dg ist weit größer, als es diesem Verhältnisse entspricht, eine $n$fache Elektricitätsmenge verbreitet sich also nicht über eine $n$fache Fläche, sondern über eine bei weitem größere, die Dichtigkeit der E auf dg muß also weit geringer seyn, als die Dichtigkeit der E auf hf.

Fig. 107.



Je mehr sich die Gestalt eines Körpers von der Kugelgestalt entfernt, desto ungleichförmiger vertheilt sich die Elektricität auf seiner Oberfläche, sie häuft sich an den von seiner Mitte entfernteren Enden am meisten an, und zwar um so mehr, je dünner sie sind. Es geht daraus hervor, daß, wenn man an einem isolirten Leiter eine Spitze anbringt, die Elektricität an dieser Spitze eine außerordentliche Dichtigkeit haben muß. Je dichter aber die Elektricität in einem Punkte ist, desto eher wird sie den Widerstand der Luft, welche sie auf dem Körper zurückzuhalten strebt, überwinden können. Daher kommt es, daß aus Spitzen die Elektricität so leicht ausströmt. Man kann eine Menge von Versuchen anstellen, durch welche dieses Vermögen der Spitzen bewiesen wird, wir wollen jedoch nur einige hervorheben.

1) Wenn man den Conductor einer Elektrisirmaschine mit einer Spitze versieht, so ist es unmöglich, den Conductor so zu laden, daß man aus ihm kräftige Funken ziehen könnte. Alle durch die Umdrehung der Maschine erzeugte Elektricität entweicht alsbald durch die Spitze.

2) Wenn man eine Spitze, die mit dem Boden in leitender Verbindung steht, dem Conductor der Maschine bis auf einige Decimeter nähert, so ist es gleichfalls unmöglich, ihn zu laden. Die Elektricität des Conductors zerlegt die verbundenen Elektricitäten der Spitze, sie stößt die gleichnamige ab und zieht die ungleichnamige an, diese ungleichnamige Elektricität häuft sich in der Spitze so stark an, daß sie nach dem Conductor überströmt, um seine Elektricität zu neutralisiren.

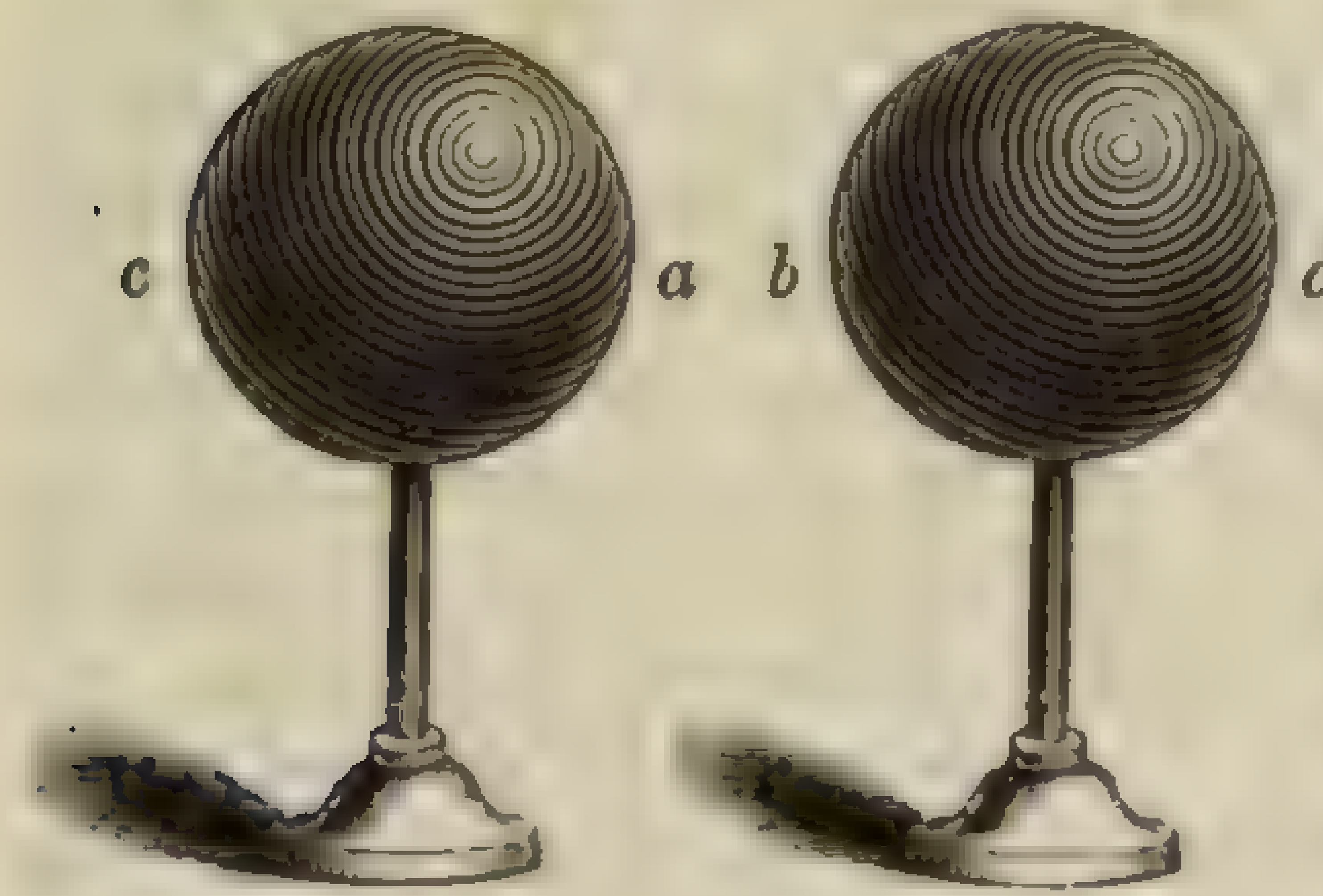
Wir werden in der Meteorologie bei der Betrachtung der Blitzableiter auf diese Eigenschaft der Spitzen zurückkommen.

Winkel und scharfe Kanten, die sich an leitenden Körpern befinden, wirken ganz auf dieselbe Weise wie die Spitzen. Man muß deshalb sorgfältig alle eckigen Formen vermeiden, wenn man Apparate construiren will, welche bestimmt sind, die Elektricität zu halten.

Wenn einem isolirten elektrischen Leiter ein anderer Leiter genähert wird, so erleidet die Vertheilung der Elektricität auf den Oberflächen bedeutende Modificationen. Einer elektrisirten isolirten Kugel werde eine andere gleichfalls isolirte und mit derselben Elektricität geladene genähert, so findet nicht mehr eine gleichförmige Vertheilung der Elektricität auf den Kugeloberflächen Statt. Weil nämlich die E der einen Kugel die der andern abstößt, so wird an denjenigen Punkten der Kugeln, welche einander zugewendet sind, die Dichtigkeit der E am kleinsten, an den entgegengesetzten Punkten aber am größten seyn.

Fig. 108 stellt zwei solcher Kugeln dar. In a und b ist Dichtigkeit der E ein Minimum, in c und d ein Maximum. Je mehr man nun die Kugeln

Fig. 108.



nähert, desto mehr wird die Dichtigkeit in a und b vermindert, in c und d aber vermehrt. Bringt man die beiden Kugeln in Berührung, so ist die Dichtigkeit der E an der Berührungsstelle gleich Null. Wären die beiden Kugeln mit entgegengesetzten Elektricitäten geladen gewesen, so hätte man in a und b die größte, in c und d die geringste Dichtigkeit gefunden. Die Anhäufung der E in a und b nimmt zu, wenn man die Kugeln nähert, bis endlich ein Funken überspringt.

Ein nicht elektrisirter Leiter, in die Nähe eines elektrisirten isolirten gebracht, wirkt ganz in der Weise, wie ein mit der entgegengesetzten Elektricität geladener Körper, weil er ja bei der Annäherung durch Induction elektrisch wird.

42 **Die Kraft, mit welcher die Elektricität von einem isolirten Leiter sich zu entfernen strebt, verhält sich wie das Quadrat der Dichtigkeit der elektrischen Schicht.** Wir haben gesehen, daß die abstoßende Kraft zweier isolirten, gleichnamig elektrisirten Leiter verdoppelt wird, wenn man die Ladung des einen verdoppelt; wenn man aber auch die Ladung des andern verdoppelt, so wird die zwischen beiden wirkende abstoßende Kraft 4mal größer. Man kann allgemein sagen, die abstoßende Kraft, mit welcher zwei gleichnamig elektrisirte isolirte Leiter auf einander wirken, wird n^2mal größer, wenn sowohl die Ladung des einen als auch die des andern $n$mal so groß gemacht wird. Das Bestreben der Elektricität, sich von einem isolirten Leiter zu entfernen, rührt aber nur daher, daß die E an irgend einer Stelle seiner Oberfläche von der gleichnamigen Elektricität abgestoßen wird, welche über die ganze übrige Oberfläche verbreitet ist. Betrachten wir nun irgend zwei Stücke a und b der Oberfläche eines isolirten Leiters, so wird die Elektricität in a diejenige in b abstoßen. Wenn aber die elektrische Ladung des ganzen Körpers verdoppelt wird, so wird die Dichtigkeit der elektrischen Schicht sowohl in a als auch in b doppelt so groß seyn, als sie vorher war, die Abstoßung zwischen der Elektricität der beiden Flächenstücken wird also 4mal so groß, als sie vorher war. Bei einer $n$fachen Ladung ist sowohl in a als auch in b die $n$fache Dichtigkeit, mithin findet eine n^2mal so große Abstoßung Statt.

Es ergiebt sich daraus, daß der elektrische Verlust isolirter Leiter in einem weit rascheren Verhältniß zunimmt, als die Größe der Ladung.

Viertes Kapitel.

Von der gebundenen Elektricität.

Das Wesen der *gebundenen Elektricität* ist bereits oben S. 70 dar- 43
gelegt worden. Es wurde daselbst erwähnt, daß die gebundene Elektricität durchaus keine Eigenschaften besitze, welche sie von der freien Elektricität specifisch unterschiede, daß sie alle Eigenschaften der gewöhnlichen theile, daß sie nur durch die Nachbarschaft einer Quantität Elektricität des entgegengesetzten Zeichens nach einer bestimmten Stelle hingezogen, an dieser angehäuft und zurückgehalten werde.

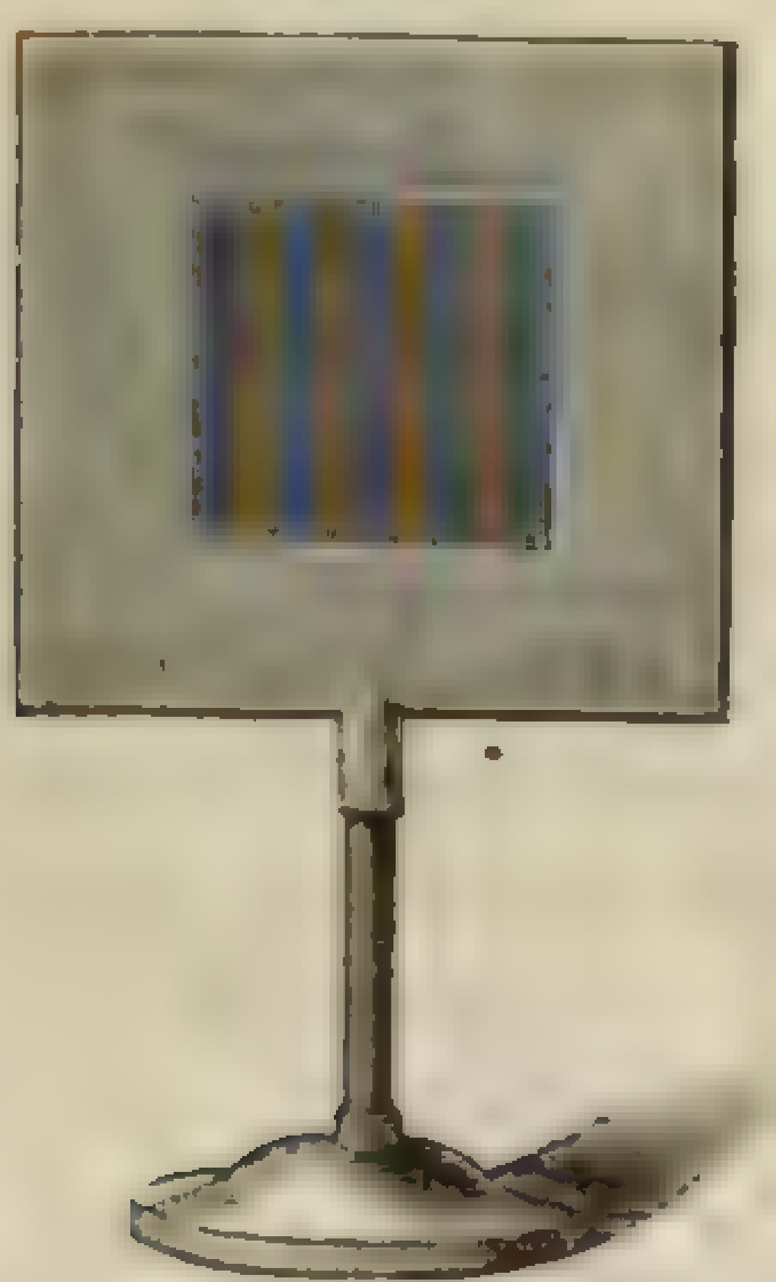
Da der Ausdruck, »*gebundene Elektricität*«, welcher durch *Lichtenberg* in die Wissenschaft eingeführt wurde, zu mancherlei verkehrten Ansichten Veranlassung gegeben hat, so schlug *Rieß* vor, diesen Ausdruck ganz zu vermeiden und statt dessen den Namen *Influenzelektricität* einzuführen. Da jedoch die Bezeichnung »*gebundene Elektricität*« nun einmal in der Wissenschaft eingebürgert ist, so mag er wohl auch ferner noch ohne Nachtheil gebraucht werden, wenn durch die bestimmte Erklärung, daß die gebundene Elektricität keine besondere Eigenschaft vor der gewöhnlichen voraus habe, alle etwaigen Mißverständnisse abgeschnitten sind.

Wir haben schon gesehen, daß, wenn zwei isolirte Leiter, mit entgegengesetzten Elektricitäten geladen, durch eine Luftschicht getrennt sind, die Elektricität des einen die des andern in der Weise anzieht, daß man abwechselnd den einen oder den andern der beiden Körper mit dem Boden in leitende Verbindung setzen kann, ohne daß seine Elektricität vollständig abgeleitet werden kann. Ist z. B. in Fig. 108 die Kugel links mit positiver, die rechts mit negativer Elektricität geladen, so kann man die eine oder die andere mit dem Finger berühren, ohne daß sie ihre Ladung verlieren. Die Elektricität auf der einen Kugel wird durch die entgegengesetzte E auf der andern angezogen, sie kann sich nicht entfernen, sie ist *gebunden*. Je näher die beiden Elektricitäten einander gebracht werden, desto stärker ziehen sie sich an, desto vollständiger ist also auch ihre gegenseitige Bindung; wenn aber die beiden Leiter nur durch eine Luftschicht getrennt sind, so kann die Bindung nicht sehr vollständig seyn, weil man sie nicht sehr nähern kann, ohne daß die Luftschicht durchbrochen wird und ein Funken überspringt. Wenn also die Bindung möglichst vollkommen seyn soll, so müssen die beiden mit entgegengesetzten Elektricitäten geladenen Leiter nicht durch Luft, sondern durch einen andern Isolator getrennt seyn, welcher dem Uebergange der Elektricität einen größern Widerstand entgegensetzt; man wählt dazu am besten Glas oder Harz.

Um die Eigenschaften der gebundenen Elektricität näher zu untersuchen, ist

die Franklin'sche Tafel ganz besonders geeignet. Fig. 109 stellt eine Glastafel vor, deren Seiten ungefähr 1 Fuß lang sind. In der Mitte ist die Glastafel auf jeder Seite mit Stanniol belegt, so daß das Glas an dem Rande ungefähr handbreit frei bleibt. Um die unbelegten Stellen des Glases besser isolirend zu machen, kann man sie mit Firniß überstreichen. Wenn man nun die vordere Belegung mit positiver, die hintere mit negativer Elektricität ladet, so sind die beiden entgegengesetzten Elektricitäten einander sehr nahe, sie sind nur durch Glasscheibe getrennt, die sie jedoch nicht zu durchbrechen im Stande sind; die Bindung wird also hier ziemlich vollständig stattfinden.

Fig. 109.



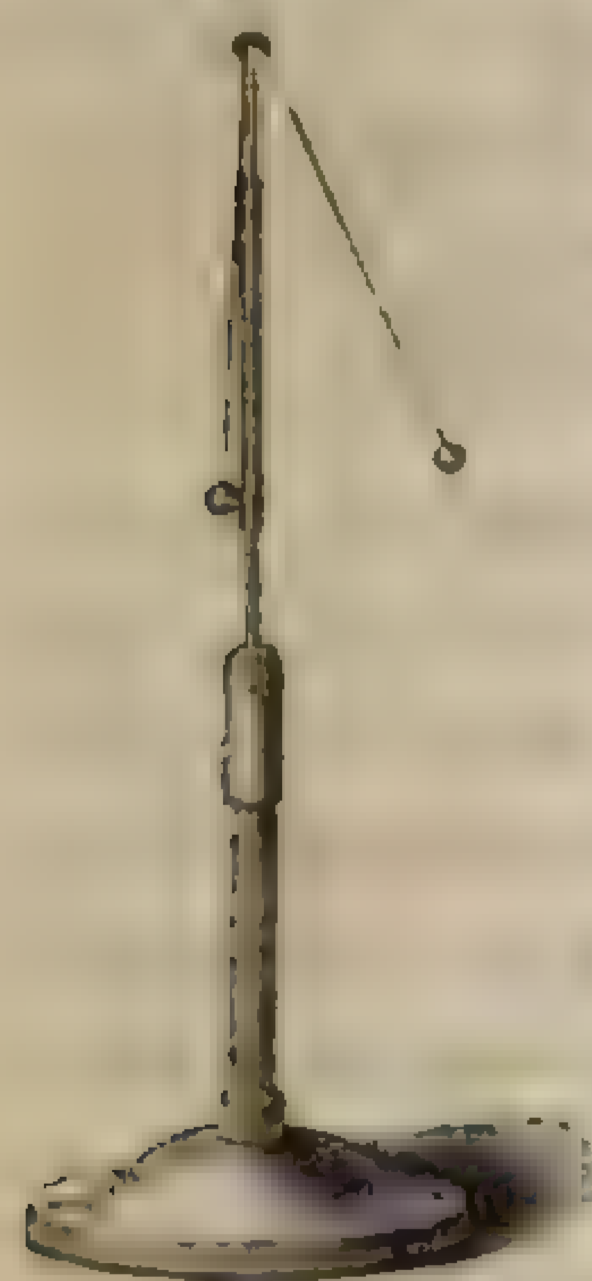
Um die beiden Belegungen der Franklin'schen Tafel mit den entgegengesetzten Elektricitäten zu laden, hat man nicht nöthig, jede mit einer Elektricitätsquelle in Verbindung zu bringen. Man bringe die eine Belegung, etwa die vordere, mit dem Conductor der Elektrisirmaschine in leitende Verbindung, so wird ein Theil $+E$ vom Conductor auf die Belegung übergehen. Die Elektricität auf der vordern Belegung wirkt vertheilend auf die verbundenen Elektricitäten der hintern; und sobald man diese mit dem Boden in leitende Verbindung setzt, strömt die $+E$ in den Boden über und die $-E$ verbreitet sich auf der hintern Belegung. Die $-E$ auf der hintern Belegung wirkt aber bindend auf die $+E$ der vordern, und dadurch wird es möglich, daß von neuem Elektricität vom Conductor aus auf die vordere Belegung übergeht, die auch durch ihre vertheilende Kraft wieder die $-E$ auf der hintern Belegung vermehrt. Man kann auf diese Weise leicht die eine Belegung mit $+E$, die andere mit $-E$ laden.

So klein auch die Entfernung der beiden Belegungen seyn mag, so ist doch die gegenseitige Bindung nicht vollständig. Damit auf der einen Seite die E vollständig gebunden sey, muß auf der andern Seite ein Ueberschuß von Elektricität, also freie E vorhanden seyn. Man berühre die eine Belegung der geladenen Franklin'schen Tafel, etwa die hintere, mit dem Finger, während die vordere nicht mehr mit dem Conductor verbunden ist, so kann man nur etwas E ableiten, auf der hintern Belegung bleibt immer noch eine starke Ladung $-E$ zurück, welche vollständig gebunden ist. Damit aber diese $-E$ vollständig gebunden sey, ist durchaus erforderlich, daß auf der andern Seite ein Ueberschuß von $+E$ sich befinde. Daß es auch wirklich so sey, davon kann man sich leicht überzeugen. Nachdem man alle nicht gebundene $-E$ der hintern Belegung abgeleitet hat, wird von der vorderen Belegung bei Annäherung des Fingers ein schwacher Funken überspringen, ein Beweis, daß hier freie Elektricität vorhanden war. Hat man nun von der vordern Belegung alle freie $+E$ weggenommen, so ist nun wieder auf der andern Seite

freie E, und man kann nun von der hintern Belegung einen schwachen Funken entlocken u. s. w.

Es läßt sich dieser Ueberschuß an Elektricität, welcher auf der einen Belegung vorhanden seyn muß, um die entgegengesetzte E auf der andern Seite vollständig zu binden, auch dem Auge sichtbar machen.

Fig. 110.

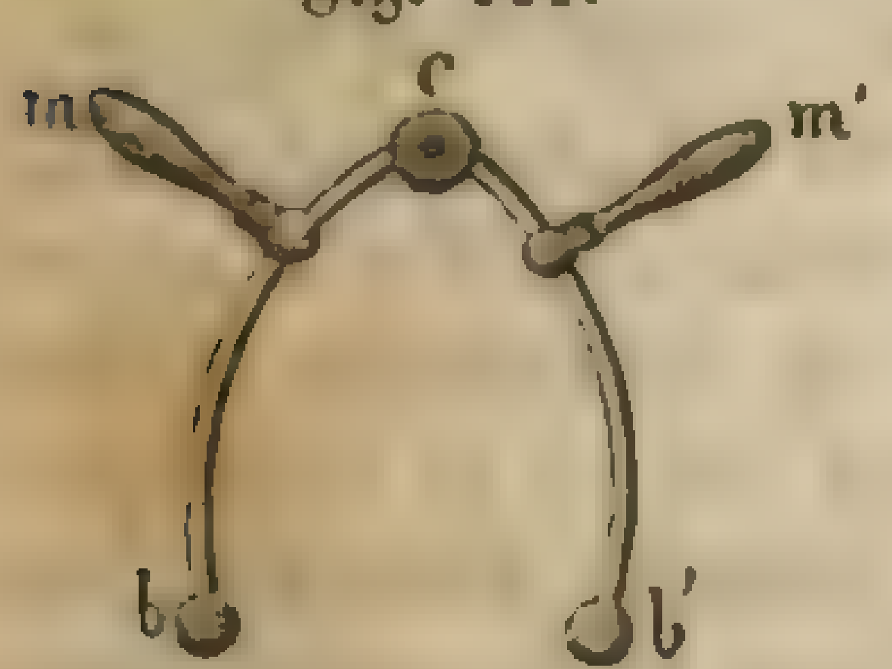


Man befestige mit etwas Wachs auf jeder Seite der Tafel ein leichtes elektrisches Pendel in der Weise, wie man in Fig. 110 sieht, welche die Scheibe im Durchschnitt zeigt. Auf der Seite, auf welcher freie Elektricität sich befindet, wird das Pendel abgestoßen, während es auf der andern Seite gerade herunterhängt und mit der Belegung in Berührung bleibt. Berührt man die Seite, auf welcher sich freie Elektricität befindet, so fällt das Pendel nieder, während das auf der andern Seite steigt. Man kann also durch abwechselndes Berühren auf der einen und auf der andern Seite abwechselnd das eine und das andere Pendel steigen machen.

Diese Erscheinung mit den Pendeln läßt sich leicht erklären. Wenn auf der einen Seite ein Ueberschuß von $+E$ ist, so wirkt sie anziehend sowohl auf die E der andern Belegung, als auch auf die wenige $-E$, die sich etwa im Kügelchen der andern Belegung befindet. Freilich wirkt die $-E$ der hintern Belegung abstoßend auf die $-E$ im Kügelchen, aber die Kraft, mit welcher der Ueberschuß der $+E$ das negative Kügelchen anzieht, ist größer als die Kraft der Abstoßung. Leitet man aber die überschüssige $+E$ ab, so verbreitet sich die freigewordene $-E$ zum Theil über das Kügelchen, welches nun abgestoßen wird, weil jetzt kein Ueberschuß von $+E$ auf der andern Seite mehr vorhanden ist, welcher es zurückhalten könnte.

Dadurch, daß man abwechselnd die eine und dann die andere Belegung mit dem Finger berührt und so immer die freie Elektricität auf der einen Seite wegnimmt, wird allmälig der Apparat ganz entladen. Wenn man aber die beiden Belegungen zugleich berührt, oder sie auf irgend eine andere Weise in leitende Verbindung setzt, so findet die Entladung auf einmal Statt, indem die angehäuften entgegengesetzten Elektricitäten der beiden Belegungen auf diesem Wege zu einander übergehen. Man wendet zu diesem Zwecke gewöhnlich den Fig. 111 dargestellten **Entlader** an. Er besteht aus zwei gebogenen Messingstäben, $b\,c$ und $b'c$, welche bei c durch ein Charnier verbunden sind. Jeder der Arme des Ausladers endet mit einer kleinen Messingkugel (b und b') und ist außerdem noch mit einem isolirten Handgriff (m und m') versehen. Man berührt die eine Belegung mit der einen Kugel und nähert die andere Kugel der gegenüberstehenden Belegung. Schon in einiger Entfer-

Fig. 111.



nung springt ein Funken mit lebhaftem Licht und lautem Knacken über. Diese Entladung ist leicht zu erklären. Nehmen wir an, die Kugel b sey mit derjenigen Belegung in Verbindung gebracht, auf welcher sich freie Elektricität befindet, so wird sich diese freie E über den ganzen Auslader verbreiten; dadurch aber wird ein Theil der Elektricität auf der andern Belegung frei, und diese wirkt durch die Luftschicht hindurch, um die entgegengesetzte in der Kugel b' zu concentriren. Je näher nun die Kugel b' der zweiten Belegung gebracht wird, ein desto größerer Antheil der E in der berührten Belegung wird nach b' übergehen, bis endlich die Spannung hinreicht, um die Luftschicht zu durchbrechen.

Hätte man die Kugel b mit derjenigen Belegung in Berührung gebracht, auf welcher sich keine freie E befindet, so hätte die freie E der andern Seite zersetzend auf die verbundenen Elektricitäten der genäherten Kugel b' gewirkt, in Folge dessen wäre ein Theil der bis dahin gebunden gewesenen E der berührten Belegung frei geworden, um nach b' überzugehen, bei hinlänglicher Annäherung von b' an die nicht berührte Belegung muß also ebenfalls die Entladung erfolgen.

Es ist nun noch die Frage zu beantworten, welches die Gränze der Ladung sey, welche man einer Franklin'schen Tafel ertheilen kann. Diese Gränze hängt von der Elektricitätsquelle ab, mit welcher man die eine Belegung in Berührung bringt.

Um die Betrachtung zu vereinfachen, wollen wir annehmen, man habe die eine Belegung nicht mit dem Conductor der Maschine in Berührung gebracht, welcher durch die Maschine stets neue Elektricität erhält, sondern mit einem isolirten Leiter, dem man eine bestimmte Ladung ertheilt hat. Sobald man diesen Leiter mit der einen Belegung in Verbindung bringt, wird ein Theil seiner Elektricität auf die Belegung übergehen; sobald man aber die andere Belegung mit dem Finger berührt, strömt eine bedeutend größere Menge von Elektricität von dem Leiter auf die Tafel über, es bleibt aber immer noch ein, wenn auch geringer, Theil freier Elektricität auf dem Leiter zurück. Damit auf der mit dem Finger berührten Belegung alle E gebunden sey, muß, wie wir schon wissen, auf der andern Seite noch freie Elektricität vorhanden seyn. Bezeichnen wir mit M die Menge aller Elektricität, welche sich auf der mit der Elektricitätsquelle berührten Belegung befindet, so wird auf der andern Seite nicht eine gleiche Menge M der entgegengesetzten E gebunden, sondern eine geringere Menge, die wir mit m bezeichnen wollen. m wird ein aliquoter Theil von M seyn, der um so größer ist, je näher die Belegungen einander, je dünner also die Glasplatten sind. Nehmen wir an, es sey $m = 0{,}98\ M$. Die Elektricitätsmenge m auf der mit dem Finger berührten Belegung bindet aber einen Theil y der auf der andern Seite befindlichen Elektricitätsmenge M, und zwar wird für unsern Fall $y = 0{,}98\ m$ seyn. Setzt man nun für m seinen Werth $0{,}98\ M$, so kommt $y = 0{,}98^2\ M = 0{,}9604\ M$, d. h. von der Elektricitätsmenge M sind nahe $^{24}/_{25}$ gebunden und $^{1}/_{25}$ ist frei. Es wird also so lange von dem elektrisirten Leiter Elektricität auf die Belegung übergehen, bis die Dichtigkeit der gebundenen E 24mal so groß ist, als die Dich-

tigkeit der noch außerdem über diese Belegung verbreiteten freien *E.* Das Verhältniß zwischen der freien und gebundenen Elektricität ändert sich, wie schon bemerkt wurde, mit der Dicke der Glasscheibe. Man kann ganz allgemein sagen, daß die Gränze der Ladung erreicht sey, wenn die noch freie Elektricität ein Bruchtheil, $1/n$, von der gebundenen ist.

Wenn man die eine Belegung der Tafel mit einer fortdauernden Quelle von Elektricität, etwa dem Conductor der Maschine, in Verbindung bringt, so ist die Sache ganz dieselbe. Wenn man die andere Belegung isolirt läßt, so geht eine bestimmte Menge Elektricität q auf die Belegung über, welche aber frei ist. Die Menge q wird durch fortgesetztes Drehen der Maschine nicht vermehrt, es ersetzt nur, was verloren geht. Wenn auf dem Conductor der Maschine ein Quadrantenelektrometer angebracht ist, so hat dies sehr bald eine Stellung erreicht, welche dem Maximum der Spannung entspricht, die man dem Conductor geben kann. Sobald man aber die andere, bisher isolirt gebliebene Belegung mit dem Finger berührt, fällt das Elektrometer auf der Stelle nieder, weil jetzt alle Elektricität vom Conductor gleich nach der Tafel hingezogen und daselbst gebunden wird. Die Bindung dauert jedoch nur so lange fort, bis das erwähnte Verhältniß zwischen der Menge der gebundenen und noch freien Elektricität stattfindet. Nun aber ist q das Maximum der Dichtigkeit der freien *E*, welche sich auf der Belegung verbreiten kann, folglich ist nq die Dichtigkeit der gebundenen Elektricität, welche man auf der mit dem Conductor verbundenen Belegung anhäufen kann. Ist man einmal so weit gekommen, daß die Dichtigkeit der gebundenen Elektricität $n$mal so groß ist, als die der *E*, welche sich auf der Belegung verbreitet haben würde, wenn die andere Belegung isolirt geblieben wäre, so ist die Gränze der Ladung erreicht, ein ferneres Umdrehen der Maschine ersetzt nur den elektrischen Verlust.

Nicht immer läßt sich die angegebene Gränze der Ladung erreichen, denn wenn man hinlänglich kräftige Maschinen anwendet, so werden die Widerstände, welche die völlige Vereinigung der Elektricitäten der beiden Belegungen hindern, schon eher überwunden, es erfolgt von selbst schon eine Entladung, ehe noch eine Gränze erreicht ist, indem entweder das Glas durchbrochen wird, oder ein Funken durch die Luft über den unbelegten Glasrand hin überschlägt.

Die Leidner Flasche ist eigentlich nur eine veränderte Form der Frank- 44
lin'schen Tafel; sie besteht aus einem Glasgefäß, welches außen bis auf einige Zoll vom Rande mit Stanniol überklebt ist; innen ist das Gefäß auf ähnliche Weise mit einer Belegung versehen oder mit einer leitenden Substanz, etwa Eisenfeile oder Schrotkörnern, gefüllt. Die innere Belegung ist mit einem Messingstab verbunden, welcher durch den Stopfen oder den Deckel des Gefäßes hindurchgeht und mit einem Knopfe endigt. Fig. 112 und Fig. 113

Fig. 112.

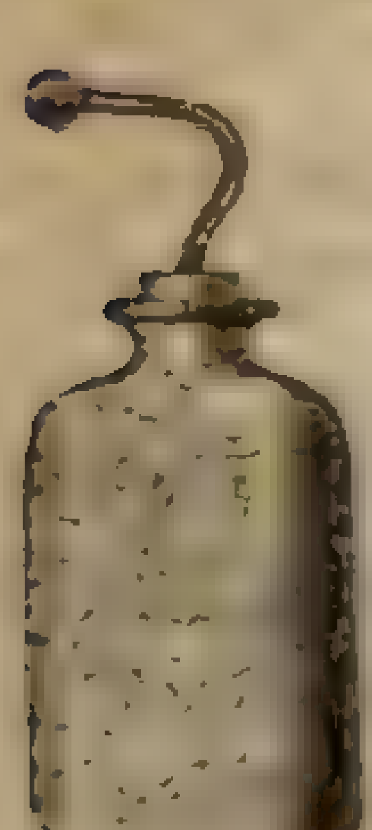


Fig. 113.



stellen zwei Formen der Leidner Flasche dar. Der nicht belegte Theil des Glases muß gefirnißt werden. Um die Flasche zu laden, bringt man die äußere Belegung mit dem Boden, den Knopf mit dem Conductor der Maschine in leitende Verbindung. Man kann aber auch umgekehrt die innere Belegung mit dem Boden und die äußere mit dem Conductor der Maschine verbinden.

Auch die Leidner Flaschen entladen sich manchmal von selbst, indem entweder ein Funken von der äußeren Belegung zu dem Metallstab überspringt, oder indem das Glas durchbrochen wird. Im letzteren Falle ist die Flasche natürlich für die Folge unbrauchbar.

Wenn man zur Entladung der Flasche mehrere Leiter zugleich anwendet, so wählt die Elektricität immer den besten. Drückt man z. B. mit der einen Hand einen Metalldraht an die äußere Belegung, so kann man ungestraft mit der andern Hand das andere Ende des Drahtes an den Knopf halten; der Entladungsschlag geht durch das Metall und nicht durch den Körper; der Draht darf jedoch nicht zu dünn seyn.

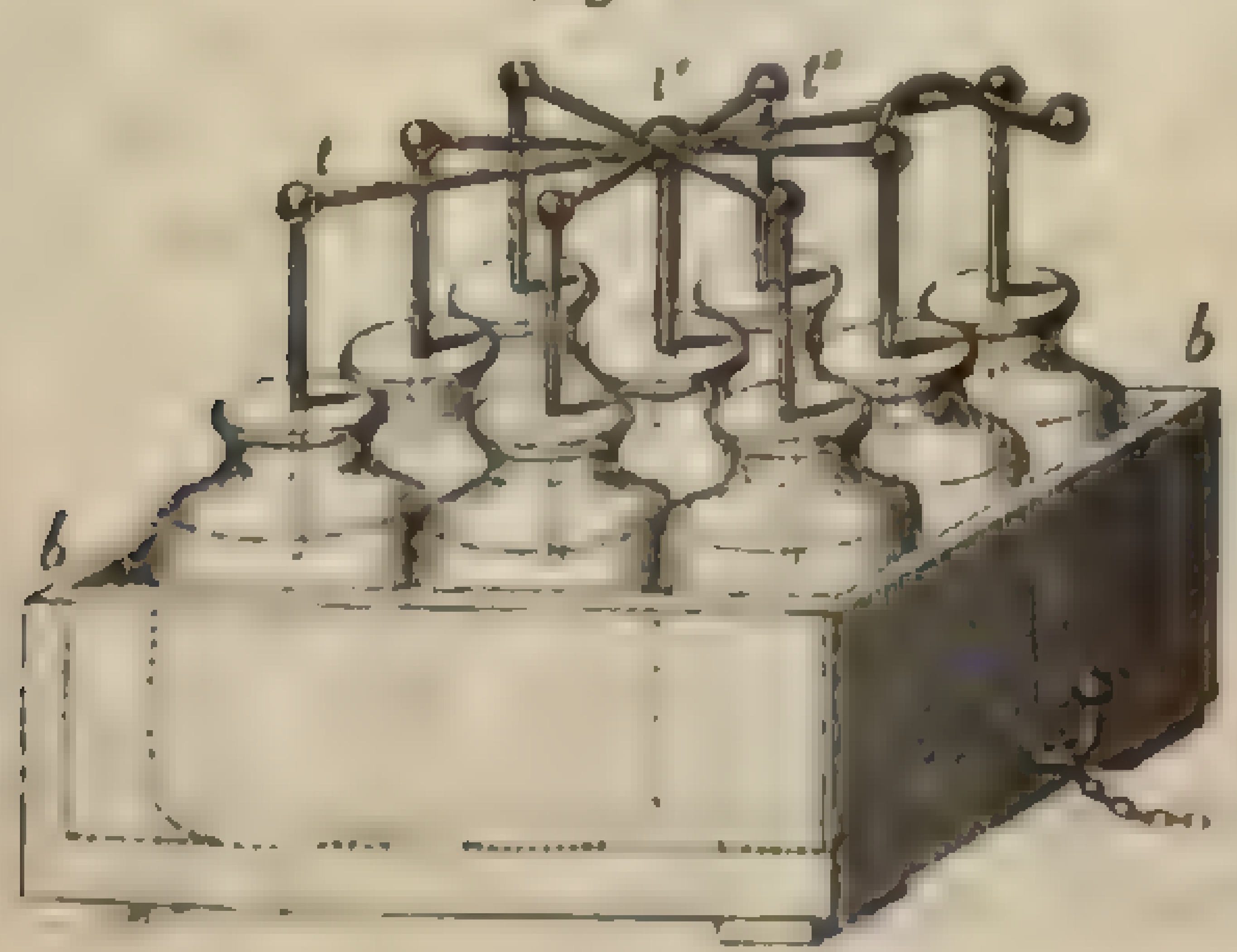
Wenn man eine Leidner Flasche entladen hat und sie dann nur ganz kurze Zeit stehen läßt, so giebt sie einen zweiten, freilich weit schwächeren Entladungsschlag. Der Grund davon ist wohl der, daß der Ueberschuß von Elektricität, welcher sich auf der inneren Belegung befindet, eine neue Ladung veranlaßt. Die Elektricität bleibt nicht bloß auf den metallischen Belegungen der Leidner Flasche, sondern sie geht zum Theil auf die Oberfläche des Glases über. Daß die Sache wirklich so sey, läßt sich an einer Flasche zeigen, deren Belegungen man wegnehmen kann. Eine solche Flasche ist Fig. 114 dargestellt. Nachdem man sie geladen hat, nehme man die innere Belegung heraus und entlade sie vollständig. Dann hebe man das Glasgefäß aus der äußern Belegung und nehme auch dieser alle ihre Elektricität. Setzt man nun das Glas wieder in die äußere Belegung und die innere in das Glas, so findet man, daß die Flasche noch zum Theil geladen ist, und diese Ladung hatte offenbar auf den gegenüberstehenden Oberflächen des Glasgefäßes gehaftet.

Fig. 114.



Um recht starke Ladungen zu erhalten, muß man möglichst große Flaschen nehmen, oder man muß mehrere Flaschen zu einer **elektrischen Batterie** verbinden. Eine solche Batterie ist Fig. 115 dargestellt. Alle äußeren Belegungen der Flaschen sind unter sich in leitender Verbindung, ebenso alle inneren Belegungen.

Fig. 115.



Wenn der Entladungsschlag einer Leidner Flasche durch den menschlichen Körper hindurchgeht, so bringt er auf das Gefühl eine eigenthümliche, schwer zu beschreibende Empfindung, ein unwillkürliches Zucken der Nerven her-

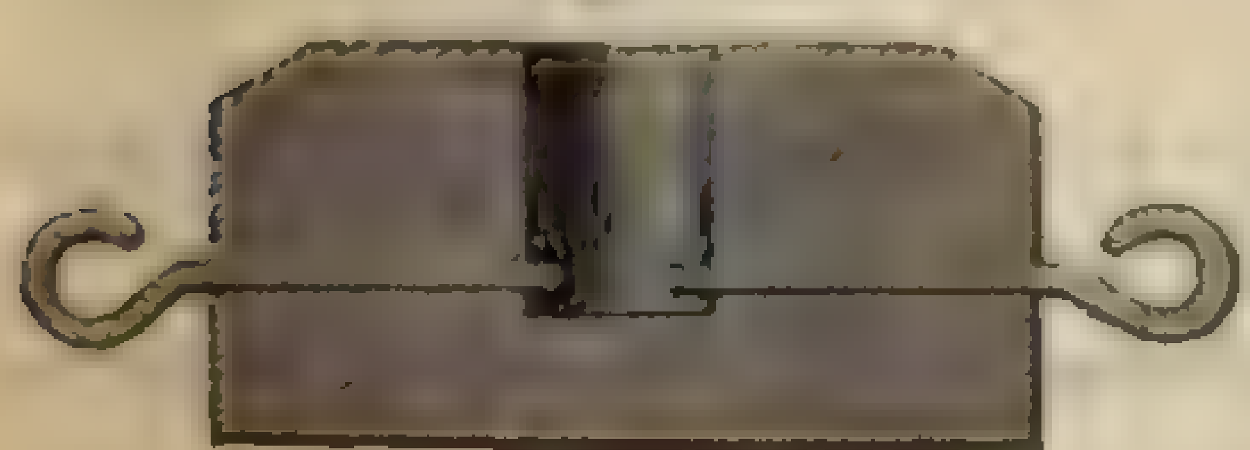
vor. Man macht den Versuch, indem man mit der einen Hand die äußere Belegung, mit der andern den Knopf anfaßt. Bei schwächeren Ladungen ist der Schlag nur in den Vorderarmen fühlbar, bei stärkeren fühlt man ihn auch im Oberarm, und, wenn die Ladung noch stärker gemacht wird, so bringt der Schlag einen heftigen Schmerz in der Brust hervor. Sehr starke Schläge können in der That gefährlich werden. Um kleinere Thiere, wie Vögel, Hasen u. s. w., durch den elektrischen Schlag zu tödten, hat man noch nicht einmal große Batterien nöthig, mit welchen man selbst noch größere Thiere tödten kann. An den durch einen elektrischen Schlag getödteten Thieren hat man bei der anatomischen Untersuchung derselben bis jetzt noch keine Verletzung der Organe entdecken können; nach den Zuckungen aber, welche sie machen, wenn der Schlag nicht ganz hinreichend war, um sie zu tödten, kann man beurtheilen, wie heftig das ganze Nervensystem angegriffen worden ist.

Wenn mehrere Personen eine Kette bilden, indem sie einander die Hände geben, und die erste die äußere Belegung der Flasche, die letzte den Knopf anfaßt, so fühlen alle den Schlag auf einmal.

Brennbare Flüssigkeiten kann man mit Hülfe der Leidner Flasche weit sicherer entzünden als mit dem directen Funken vom Conductor der Maschine. Selbst gepulvertes Colophonium, auf Baumwolle gestreut, läßt sich durch den Entladungsfunken der Leidner Flasche entzünden.

Um Schießpulver zu entzünden, wendet man die Vorrichtung, Fig. 116, an. In ein Holzklötzchen ist ein Loch von ungefähr $\frac{1}{2}$ Zoll Durchmesser und 1 Zoll Tiefe gebohrt. Durch zwei seitliche, diametral einander gegenüberstehende Löcher ragen zwei ungefähr 1 Linie dicke Messingdrähte in den untern Theil dieser Höhlung hinein. Der eine dieser außen etwas umgebogenen Drähte ist mit der äußern Belegung der Batterie in Verbindung gebracht, während von dem andern aus eine leitende Verbindung mit der innern Batterie hergestellt wird. Der Entladungsfunken geht nun in der oben erwähnten Höhlung zwischen den einander gegenüberstehenden Drahtenden über. Zur Entzündung des Pulvers ist nicht nur eine starke Ladung der Batterie, sondern auch eine Verzögerung der Entladung nöthig, welche dadurch bewirkt wird, daß man an einer beliebigen Stelle eine feuchte Schnur, einen durchnäßten Bindfaden, einschaltet. Wenn der ganze Schließungsbogen metallisch ist, wie gewöhnlich, so wird das Pulver bloß auseinander geworfen und nicht entzündet.

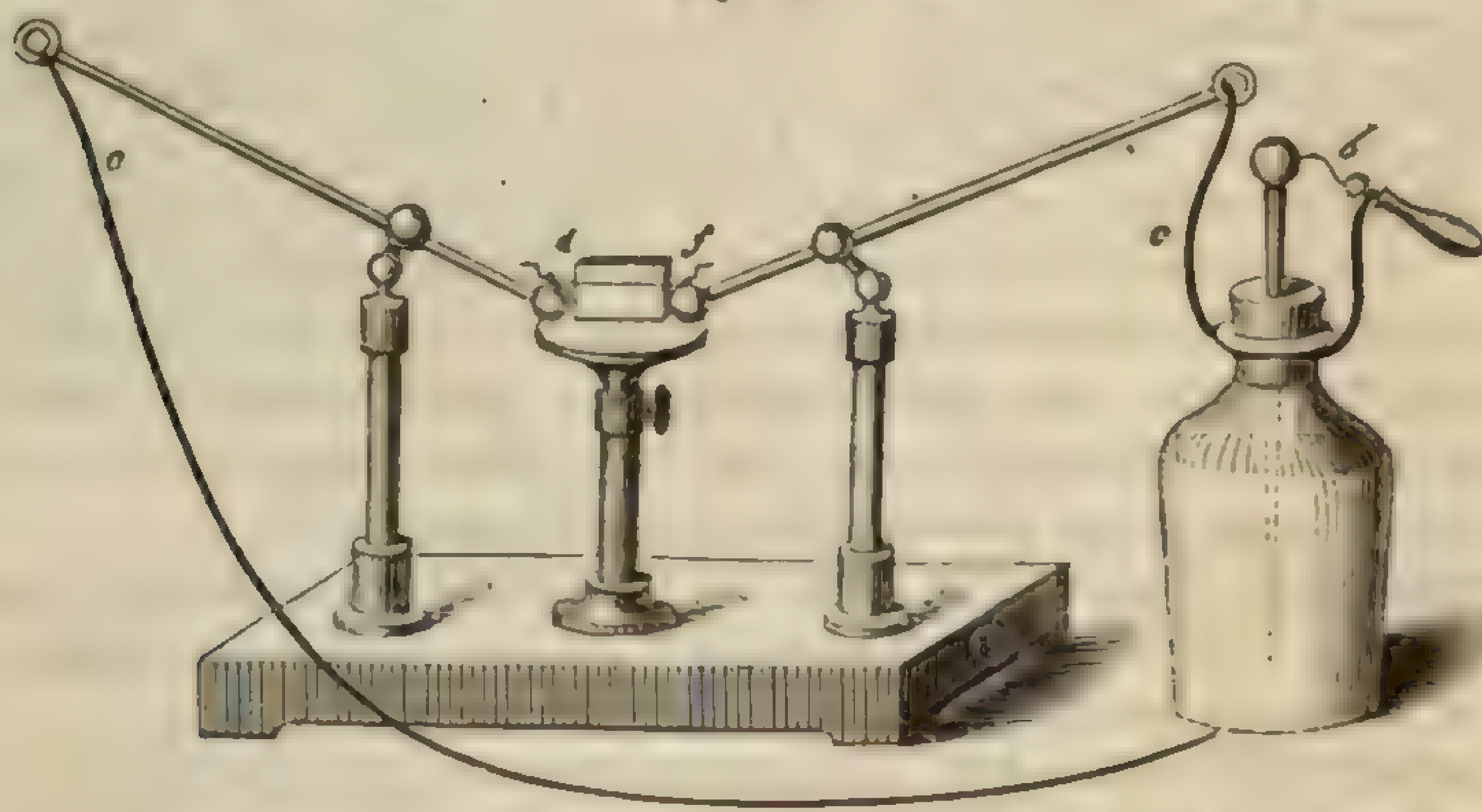
Fig. 116.



Zu sehr vielen Versuchen, die man mit dem Entladungsschlag der Leidner Flasche und der elektrischen Batterie anstellen kann, ist der Henley'sche allgemeine Auslader, welcher Fig. 117, f. f. S., dargestellt ist, ganz besonders bequem. Der eine Arm ist durch die Kette *c* mit der äußeren Belegung in leitender Verbindung, an dem andern Arm ist eine Kette *c'* befestigt, welche mit der isolirten Kugel *b* endigt. Wenn man den Funken durchschlagen lassen

will, so faßt man die isolirende Handhabe der Kugel *b* und nähert sie rasch dem Knopfe der Flasche. Der Funke schlägt bei *b* und zwischen den beiden Kugeln *d* und *f* über, welche auf einem isolirenden Tischchen aufliegen.

Fig. 117.



Wenn man die Kugln *d* und *f* durch einen sehr dünnen Eisendraht verbindet, so wird dieser erwärmt, wenn ein schwacher Schlag hindurchgeht, eine stärkere Ladung macht ihn rothglühend und eine noch stärkere macht, daß er in einzelnen geschmolzenen Kügelchen auseinanderfährt, die weithin fortgeschleudert werden.

Ein schmaler Streifen Zinnfolie, welcher 3 bis 4 Zoll lang ist, wird durch den Entladungsschlag einer gewöhnlichen Batterie verflüchtigt, der Dampf oxydirt sich und bildet lange in der Luft schwebende, Spinnengeweben ähnliche Fäden.

Auch andere Metalle werden auf diese Weise erhitzt, glühend gemacht, geschmolzen und oxydirt; wenn man sie aber von gleicher Länge und von gleichem Durchmesser nimmt, so bringt dieselbe Ladung nicht denselben Effect hervor. Die schlechteren Leiter, wie Platin und Eisen, werden, bei gleichen Dimensionen, weit stärker erwärmt, als Gold und Kupfer, welche bessere Leiter sind.

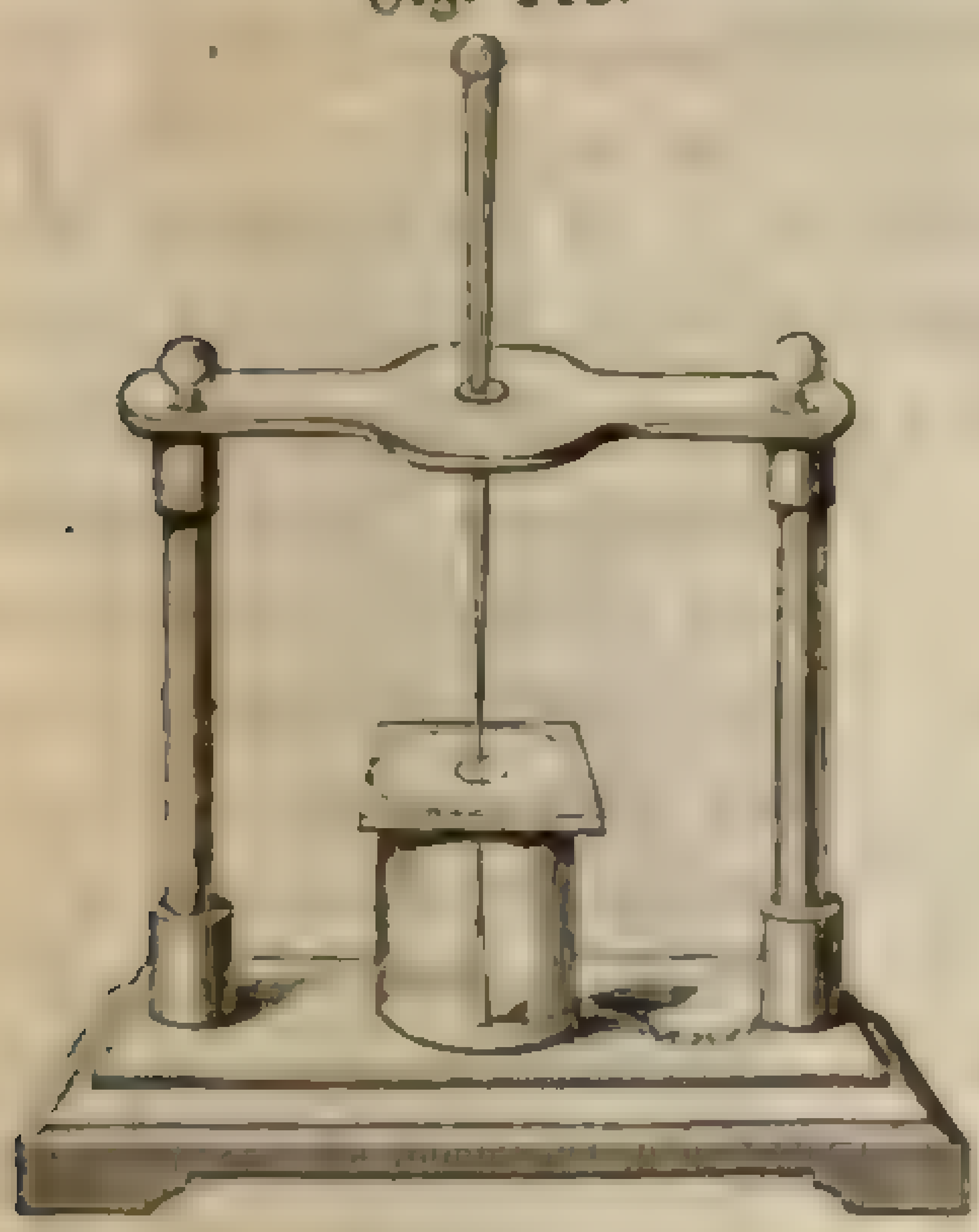
Mit Gold übersponnene Seidenfäden bieten eine eigenthümliche Erscheinung dar. Das Gold, welches sie bedeckt, wird verflüchtigt und oxydirt, ohne daß die Seide auch nur zerrissen worden wäre. Um diesen Versuch recht deutlich zu machen, hält man an den Faden ein Stück weißen Papiers, auf welchem man nach dem Schlage einen breiten Streifen von brauner Farbe sieht.

Schlechte Leiter, welche den Weg des Entladungsschlages unterbrechen, werden, wenn die Anhäufung der Elektricität bedeutend genug ist, zertrümmert oder durchlöchert. Eine Holzscheibe z. B., welche 3 bis 4 Zoll Durchmesser hat und 3 bis 5 Linien dick ist, wird von dem Entladungsschlage durchbohrt. Ebenso ein oder mehrere Kartenblätter, Pappendeckel u. s. w. Um den Versuch zu machen, bringt man den zu durchlöchernden Körper zwischen die beiden Ku-

geln der Henley'schen Entladers, und zwar so, daß diese Kugeln den eingeschobenen Körper berühren.

Um eine Glasplatte zu durchschlagen, muß man dafür sorgen, daß die Elektricität möglichst an einem Punkte concentrirt werde, die Glasplatte muß deshalb zwischen zwei einander genau gegenüberstehenden leitenden Spitzen befestigt seyn. Man kann zu diesem Zwecke den Apparat, Fig. 118, anwenden. Die Glasplatte wird, bevor man sie in den Apparat einsetzt, mit einer dünnen Oelschicht überzogen. Am einfachsten läßt sich dieser Versuch so einrichten, daß

Fig. 118.



man zwei Stecknadeln, die Spitzen einander zugekehrt, mit Hülfe von Wachs auf den beiden Seiten der Glasplatte befestigt und diese Vorrichtung so in den Henley'schen Auslader einschaltet, daß die Knöpfe der Stecknadeln mit den Kugeln *d* und *f* des Ausladers in Berührung kommen.

Beim Durchschlagen des Glases kommt es mehr auf hohe Spannung als auf große Menge der Elektricität an, der Versuch gelingt deshalb am besten mit einer Flasche von etwas dickem Glase.

Wenn man die Elektricität in einer Flüssigkeit überschlagen läßt, so erscheint ebenfalls ein Funken; auch das Knacken wird gehört, fast immer aber wird die Flüssigkeit mit großer Gewalt auseinander geschleudert. Wenn man eine Glasröhre mit Wasser füllt und sie an beiden Enden mit Korkstopfen verschließt, durch welche die Drähte hindurchgehen, zwischen welchen der Funken im Wasser überspringen soll, wie es Fig. 119 erläu-

Fig. 119.



tert, so wird die Röhre durch den Entladungsschlag in der Regel zertrümmert.

Fig. 120.



Selbst offene mit Wasser gefüllte Glasgefäße werden zersprengt, wenn ein kräftiger Entladungsschlag zwischen zwei Metallkügelchen im Wasser übergeht. Eine dazu taugliche Vorrichtung ist Fig. 120 dargestellt.

In Gasen bringt der Entladungsschlag eine so große und plötzliche Expansion hervor, daß sie eine kleine Kugel mit Hülfe des elektrischen Mörsers, Fig. 121, s. f. S., fortschleudern kann. Kinnersley, welcher zuerst diese merkwürdige Erscheinung beobachtete, construirte auch einen Apparat, um ihre Intensität zu bestimmen. Kinnersley's Thermometer ist

Fig. 122 abgebildet und wohl schon aus der Figur ohne weitere Erklärung verständlich; wenn zwischen Kugeln $b\,b'$ ein Funken überschlägt, steigt die Flüssigkeit in der Röhre $t\,t'$. Die Höhe des Steigens ist ein Maaß für die Expansion des Gases.

Fig. 121.



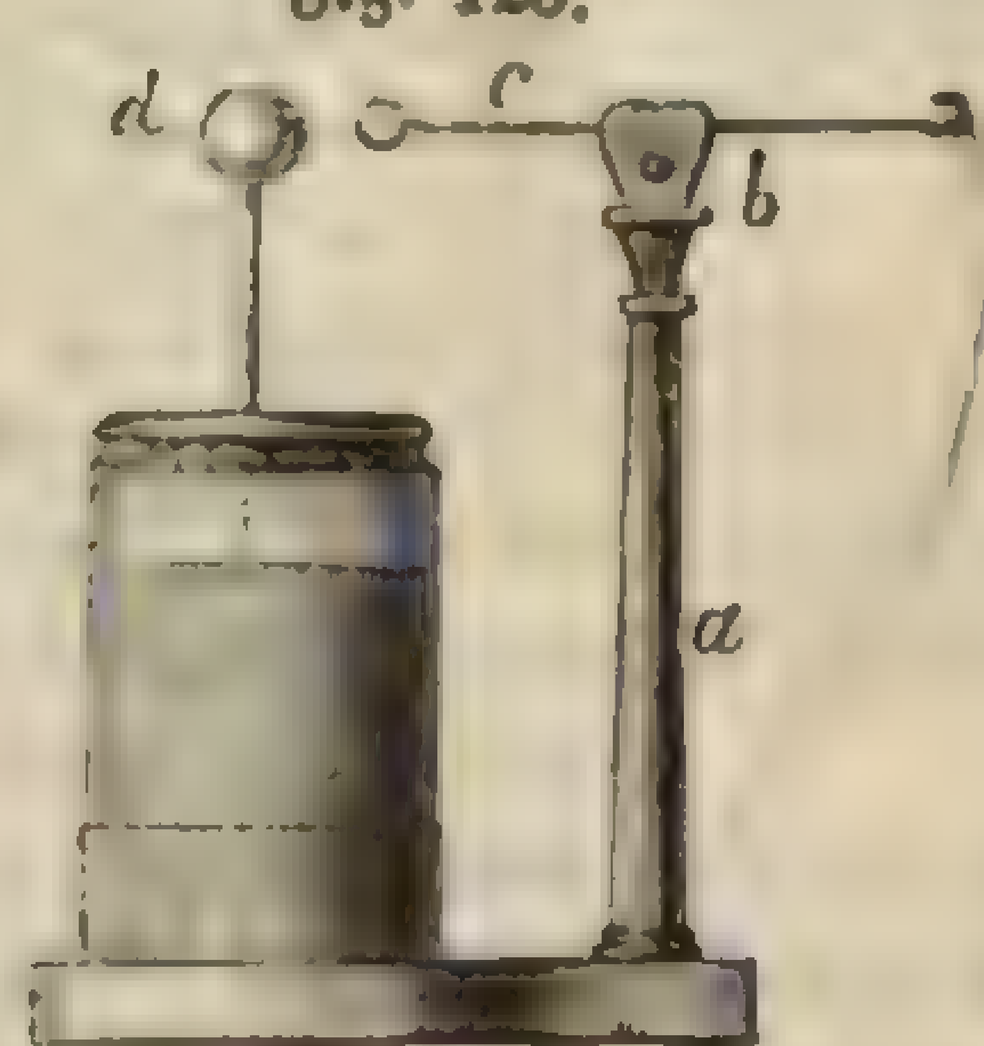
Auf der Oberfläche einiger Körper läßt der Funken einen Lichtschweif zurück, welcher mehrere Sekunden, ja oft über eine Minute lang leuchtet. Auf Kreide ist dieses phosphorische Licht roth oder violet, auf Zucker und krystallisirtem Kalkspath grünlich.

Fig. 122.



Eine für quantitative Untersuchungen vortreffliche Vorrichtung hat Lane angegeben. Auf demselben Fuße, Fig. 123, auf welchem die Flasche steht, ist ein vertikaler Stab befestigt, durch dessen oberes Ende ein horizontales, an einem Ende mit einer Kugel endigendes Messingstäbchen hindurchgeht. Man kann dieses Stäbchen beliebig vor- und rückwärts schieben und in jeder beliebigen Entfernung von der Kugel d der Flasche feststellen. Das Stäbchen ist mit einer Theilung versehen, welche es möglich macht, die Entfernung der beiden Kugeln genau zu messen. Das Stäbchen wird durch einen Messingdraht mit der äußern Belegung der Flasche metallisch verbunden.

Fig. 123.

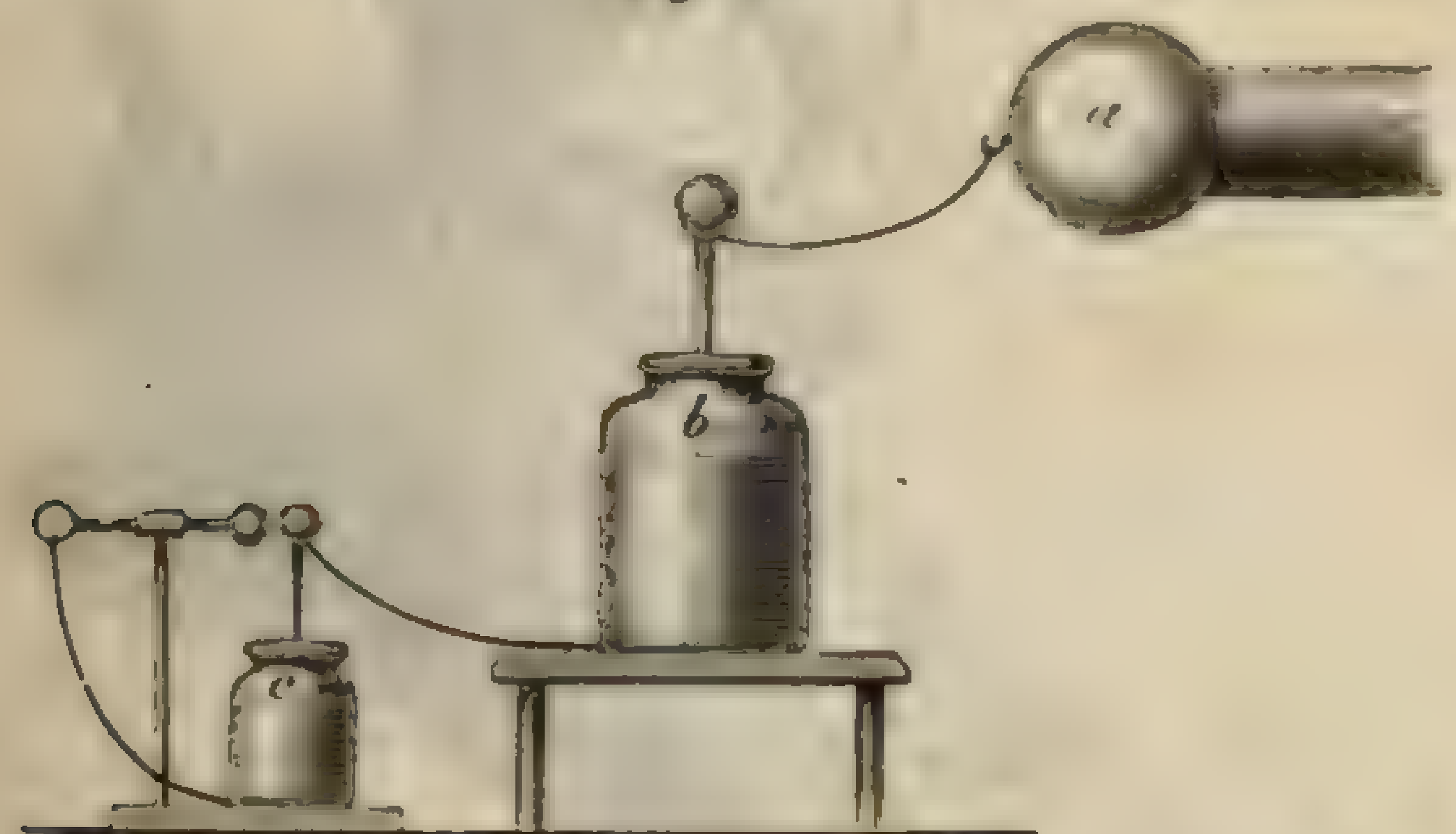


Wenn man die Kugel des Drahtes c in einer bestimmten Lage festgestellt hat, so wird der Funken überspringen, wenn die Ladung der Flasche eine gewisse Größe erreicht hat; so oft nun bei unveränderter Entfernung der Kugeln eine Entladung der Flasche stattfindet, kann man überzeugt seyn, daß sie bis zu derselben Gränze geladen war.

Die Entfernung, auf welche der Entladungsfunken überspringt, die Schlagweite, ist ein Maaß für die Ladung der Flasche. Lane fand, daß bei gleichmäßigem Drehen der Elektrisirmaschine, welche die Flasche ladet, die Entladungen noch einmal so häufig sind, wenn die Kugel c nur $\frac{1}{2}'''$ weit von der Kugel entfernt war, als wenn diese Entfernung $1'''$ betrug. Harris und Rieß bestätigten dies und fanden ferner, daß die Schlagweite einer Flasche oder einer Batterie überhaupt der Dichtigkeit der angehäuften Elektricität proportional sey, daß also für eine Batterie von 2, 3, 4 u. s. w. ganz gleichen Flaschen eine 2-, 3-, 4mal so große Elektricitätsmenge zugeführt werden muß, als einer einzigen dieser Flaschen, wenn die Schlagweite unverändert bleiben soll.

Rieß wendet die Lane'sche Flasche an, um die Quantität der Elektricität zu messen, mit welcher eine Batterie geladen wird. Zu diesem Zwecke stellte er die Batterie auf ein durch Glasfüße isolirtes Gestell und setzte die äußere Belegung der Batterie mit der inneren der Lane'schen Flasche, die äußere Belegung der Lane'schen Flasche aber mit einer großen nicht isolirten Metalloberfläche, den Gasleitungsröhren des Hauses in leitende Verbindung. Dieses Arrangement ist durch Fig. 124 anschaulich gemacht, wo *a* den Conductor der Maschine, *b* die zu ladende Flasche oder Batterie, *c* die Maaßflasche

Fig. 124.



darstellt. Wird nun der Batterie von dem Conductor der Elektrisirmaschine Elektricität zugeführt, so wird die abgestoßene positive Elektricität von der äußeren Belegung der Batterie zur inneren Belegung der Lane'schen Flasche wandern und dadurch eine Ladung derselben bewirkt werden; hat aber diese Ladung eine gewisse Gränze erreicht, so folgt eine Entladung der Lane'schen Flasche. So oft nun bei fortgesetztem Drehen der Maschine eine Entladung der Lane'schen Flasche erfolgt, so oft ist von der äußern Belegung der Batterie dieselbe Menge positiver Elektricität zu der Maaßflasche übergegangen, so oft ist also auch die Ladung der Batterie um eine gleiche Elektricitätsmenge vermehrt worden, die Ladung der Batterie ist also der Anzahl der Selbstentladungen der Maaßflasche proportional.

Nachdem sich Rieß auf diese Weise ein genaues Maaß für die Ladung der Batterie verschafft hatte, konnte er auch über die Wirkungen des Entladungsschlages genauere Versuche anstellen.

Gesetze der Wärmeentwickelung durch den Entladungsschlag der 45 **Batterie.** Um die Gesetze der Erwärmung dünner Drähte durch den Entladungsschlag zu ermitteln, wandte Rieß ein schon von Harris zu diesem Zwecke construirtes Luftthermometer an, durch dessen Kugel ein dünner Platindraht hindurchging, welcher in den Weg des Entladungsschlages eingeschaltet wurde.

Fig. 125, f. f. S., stellt ein Rieß'sches elektrisches Luftthermometer in $1/4$ der natürlichen Größe dar. Die Kugel, welche ungefähr 3 Zoll im Durchmesser hat, ist an drei Stellen durchbohrt. Die Oeffnungen bei *a* und *b* stehen einander diametral gegenüber und sind mit durchbohrten Metallfassungen ver-

sehen, zwischen welchen der Platindraht ausgespannt wird; die dritte Oeffnung *c* ist ebenfalls mit einer Metallfassung versehen, deren Oeffnung durch einen

Fig. 125.



Messingstöpsel verschlossen ist. Durch Oeffnen dieses Stöpsels unmittelbar vor dem Versuch kann man die Luft im Inneren der Kugel mit der äußeren in's Gleichgewicht setzen, worauf dann der Stöpsel wieder eingesetzt wird.

Der in der Kugel befindliche spiralförmig gewundene Platindraht hatte bei den meisten Rieß'schen Versuchen eine Länge von 60''' und einen Durchmesser von nahe 0,04 Linien.

An die Kugel ist eine Glasröhre von ungefähr $\frac{1}{2}$ Linie Weite im Lichten angeschmolzen, welche auf einem mit einer Theilung versehenen Brette befestigt ist und mit einem trichterförmigen Gefäße endigt. Man kann die Röhre nach Belieben mehr oder weniger stark gegen die Horizontale neigen.

Gießt man in das trichterförmige Gefäßchen eine gefärbte Flüssigkeit, etwa gefärbtes Wasser, so wird es bis zu einer gewissen Stelle in der Röhre aufsteigen. Wenn nun, nachdem alles im Gleichgewicht ist, die Oeffnung bei *c* wieder geschlossen wird, so ist die Luft in der Kugel vollständig abgesperrt. Geht ein Entladungsschlag durch den Platindraht, so wird er erwärmt, er theilt diese Wärme der Luft in der Kugel mit, sie wird ausgedehnt und treibt die Flüssigkeit in der Röhre um so weiter herab, je stärker die Erwärmung war. Diese

Depression ist also ein Maaß für die durch den Entladungsschlag bewirkte Erwärmung des Platindrahtes.

Der Apparat ist so eingerichtet, daß man ihn bequem in den Schließungsbogen der Batterie einschalten kann. In dieser Beziehung bedarf jedoch die Figur keine weitere Erläuterung.

Eine Versuchsreihe mit diesem Apparat gab unter andern die in folgender Tabelle zusammengestellten Resultate:

s	2	4	6
q	h	h	h
2	1,5	—	—
4	6,7	3,2	2,6
6	13,4	7,3	5,5
8		14,1	9,3

In der obersten Horizontalreihe steht die Anzahl s der angewandten Flaschen, in der ersten Vertikalreihe die angewandten Elektricitätsmengen q, gemessen durch die übergegangenen Funken der Maaßflasche. Die entsprechenden Depressionen h des Thermometers sind in Linien ausgedrückt. Als z. B. die Elektricitätsmenge 4 auf 2 Flaschen vertheilt war, erhielt man die Depression 6,7 Linien. Dieselbe Elektricitätsmenge auf 4 und 6 Flaschen vertheilt, gab nun die Depression 3,2 und 2,6. Bei gleicher Ladung verhält sich also die entwickelte Wärmemenge nahe zu umgekehrt wie die Größe der Oberfläche, auf welche sie vertheilt wird.

Verfolgen wir nun eine Vertikalreihe der Tabelle. Bei Anwendung von 2 Flaschen giebt die Elektricitätsmenge 2 die Depression 1,5. Die doppelte Elektricitätsmenge 4 giebt die Depression 6,7, also ungefähr die vierfache, die dreifache Elektricitätsmenge 6 giebt die Depression 13,4, also die 9fache Wirkung. Bei unveränderter Oberfläche der Batterie verhält sich also die Erwärmung im Platindraht wie das Quadrat der Elektricitätsmenge oder es ist

$$h = n \frac{q^2}{s},$$

wenn h die Depression der Flüssigkeitssäule, q die durch Funken der Maaßflasche gemessene Ladung der Batterie und s die Anzahl der (unter sich gleichen) Flaschen bezeichnet, welche zur Batterie vereinigt sind. n ist ein constanter Factor, für welchen sich aus der obigen Versuchsreihe der Mittelwerth 0,88 ergiebt.

Rieß fand ferner, daß die Temperaturerhöhungen verschiedener gleich langer Drähte desselben Metalls sich umgekehrt verhalten wie die Biquadrate ihrer Halbmesser oder, daß die in den Drähten frei gewordenen Wärmemengen den Querschnitten derselben umgekehrt proportional sind. — In einem 2mal, 3mal u. s. w. dickeren Drahte wird also derselbe Entladungsschlag eine 16mal,

81mal u. s. w. geringere Temperaturerhöhung hervorbringen; da aber die Massen dieser Drähte 4mal, 9mal größer sind, so ist klar, daß die in denselben frei werdende Wärmemenge 4mal, 9mal u. s. w. geringer ist als in einem Drahte von einfacher Dicke.

Wenn der Draht in der Thermometerkugel unverändert bleibt, so wird bei Entladung derselben elektrischen Ladung die Erwärmung des Drahtes in der Kugel um so geringer, je länger man den Schließungsbogen macht und je dünnere Drähte man in denselben einschaltet.

Um den Einfluß der Verlängerung des Schließungsbogens zu untersuchen, schaltete Rieß mittelst des Henley'schen Ausladers der Reihe nach verschieden lange Stücke desselben Kupferdrahtes in den Schließungsbogen ein, während im Thermometer stets derselbe Platindraht blieb. Mit jeder Einschaltung wurde nun eine Versuchsreihe in der Art gemacht, wie die auf Seite 111 angeführte. Wir wollen die Länge des eingeschalteten Kupferdrahtes (welcher 0,29''' dick war) mit λ bezeichnen.

Für $\lambda = 0$ ergab sich $h = 0{,}78 \frac{q^2}{s}$

» $\lambda = 9{,}6'$ » » $h = 0{,}69 \frac{q^2}{s}$

» $\lambda = 49{,}0$ » » $h = 0{,}48 \frac{q^2}{s}$

» $\lambda = 98{,}4$ » » $h = 0{,}34 \frac{q^2}{s}$

» $\lambda = 147{,}7$ » » $h = 0{,}27 \frac{q^2}{s}$

» $\lambda = 246{,}4$ » » $h = 0{,}21 \frac{q^2}{s}$.

Wir sehen aus dieser Zusammenstellung, daß die Erwärmung mit zunehmender Länge des Einschaltungsdrahtes, für gleiche Werthe von $\frac{q^2}{s}$ fortwährend abnimmt.

Die Werthe von h sind offenbar den Factoren von $\frac{q_2}{s}$ proportional. Für $\frac{q^2}{s} = 1$ besteht zwischen h und λ folgende Beziehung

$$h = \frac{0{,}78}{1 + 0{,}013\,\lambda} \ldots . 1)$$

Für $\lambda = 0$ giebt diese Gleichung $h = 0{,}78$; für $\lambda = 49$ giebt sie $h = 0{,}476$; für $\lambda = 147{,}7$ giebt sie 0,267 u. s. w., also lauter Werthe die mit den oben mitgetheilten Beobachtungsresultaten sehr gut stimmen, so

daß wir diese Gleichung wirklich für den Ausdruck der Beziehung zwischen h und λ nehmen können.

Die Gleichung 1 auf allgemeine Form gebracht, heißt

$$h = \frac{a}{1 + b\,\lambda},$$

woran Rieß folgende Betrachtung anschließt.

Durch Verlängerung des Schließungsbogens wird die Erwärmung vermindert. Schaltet man aber nun statt eines Metalldrahtes ein Stück feuchten Holzes, oder eine mit Wasser gefüllte Glasröhre als Zwischenleitung ein, so sind die stärksten Ladungen der Batterie nicht mehr im Stande, auch nur eine Senkung von 0,1''' zu bewirken. Hier aber ist die Entladung der Batterie nicht mehr momentan, wie bei der Einschaltung des längsten Kupferdrahtes, sie erfordert eine wahrnehmbare Zeit. Daraus läßt sich schließen, daß wir auch einen Unterschied in der Entladungszeit beobachten würden, je nachdem ein kurzer oder ein langer Kupferdraht eingeschaltet ist, wenn wir mit schärferen Sinnen begabt wären. Die Erwärmung des Platindrahtes im Thermometer scheint mit der Zeit, welche die Entladung dauert, im einfachen umgekehrten Verhältniß zu stehen. Ist eine Erwärmung a beobachtet worden, indem eine gewisse Elektricitätsmenge von gewisser Dichtigkeit in der Zeit 1 entladen wurde, so wird die Entladungszeit um $b\,\lambda$ vergrößert, wenn ein Draht von der Länge λ eingeschaltet wird, und die Erwärmung ist nun

$$h = \frac{a}{1 + b\lambda}$$

oder die Erwärmung eines Drahtes durch die Entladung der elektrischen Batterie ist der Dauer der Entladung umgekehrt proportional; die Dauer der Entladung wird durch Verlängerung des Schließungsdrahtes um eine Zeit verzögert, welche der zugesetzten Drahtlänge proportional ist.

Wenn in den Schließungsbogen der Reihe nach mittelst eines Henley'schen Ausladers gleich lange und gleich dicke Drähte verschiedener Metalle eingeschaltet werden, so wird durch Entladung gleicher Ladungen der Batterie der Draht in der Thermometerkugel sehr ungleiche Erwärmungen erfahren, die eingeschalteten Drahtstücke verzögern also die Entladung nicht gleich stark. Hat man einmal einen Kupferdraht, dann einen Platindraht von gleicher Länge und Dicke eingeschaltet, so wird für den Kupferdraht eine stärkere Erwärmung in der Thermometerkugel wahrgenommen werden; wenn man aber bei gleicher Dicke den Platindraht im Auslader 6,44mal kürzer macht als den Kupferdraht, so beobachtet man unter sonst gleichen Umständen für beide eine gleiche Temperaturerhöhung des Platindrahtes in der Thermometerkugel; ein Platindraht verzögert also die elektrische Entladung gerade eben so stark, wie ein gleich dicker, 6,44mal längerer Kupferdraht, das Platin hat also eine 6,44mal stärkere Verzögerungskraft als das Kupfer, oder auch die Leitungsfähigkeit des Platins ist 6,44mal geringer als die des Kupfers.

Rieß hat den specifischen Leitungswiderstand verschiedener Metalle durch zahlreiche Versuche ermittelt, welche sich auf das eben angedeutete Princip stützen. Wir werden weiter unten ausführlicher davon reden.

Als im Thermometer sich ein Platindraht von 59''' Länge und 0,041''' Radius, im Auslader aber ein Kupferdraht von 142''' Länge und 0,042''' Halbmesser befand, gab eine den obigen ähnliche Beobachtungsreihe

$$h = 1,51\frac{q^2}{s}.$$

Wurden nun die Drähte vertauscht, so daß das Kupferdraht im Thermometer, der Platindraht aber im Auslader war, so kam

$$h = 0,46\frac{q^2}{s}.$$

Derselbe Entladungsschlag bringt also in beiden Drähten sehr ungleiche Erwärmungen hervor. Aus diesen und ähnlichen mit anderen Metallen angestellten Versuchen gelangte Rieß, alle hier influirenden Umstände in Rechnung ziehend, zu dem Resultat, daß die durch den elektrischen Entladungsschlag caeteris paribus in den Drähten frei werdende Wärmemenge der verzögernden Kraft dieser Metalle proportional ist.

Es sind schon oben, Seite 106, im Allgemeinen die Wirkungen angeführt worden, welche ein starker Entladungsschlag hervorbringt, wenn er durch einen dünnen Metalldraht hindurchgeführt wird. Auch diese Effecte hat Rieß einer genaueren Prüfung unterworfen und hat gezeigt, daß die Schmelzung nicht eine directe Wirkung der Erwärmung durch den Entladungsschlag seyn kann. Von seinen Beobachtungen der Temperaturerhöhung etwas dickerer Drähte für schwächere Ladungen ausgehend, konnte Rieß die Temperaturerhöhung eines dünnen Drahtes bei stärkerer Ladung berechnen, es ergab sich durch diese Rechnung 211° für die Temperaturerhöhung eines Platindrahtes bei einem Entladungsschlag, welcher den Draht schmolz. Eine solche Temperatur ist aber nicht zum Glühen, viel weniger zum Schmelzen des Platins hinreichend; das Metall schmilzt schon, ehe es durch Steigerung seiner Temperatur schmelzen würde, in der Schmelzung erkennt deshalb Rieß eine elektrische Wirkung, die von der Erwärmung durch Elektricität getrennt ist.

Bei fortgesetzter Steigerung der Ladung treten noch vor dem Eintreten des Glühens eine Reihe von Erscheinungen am Drahte auf, welche auf ein gewaltsames Eindringen, auf eine mechanische Wirkung der Elektricität hindeuten. Der Draht wird sichtbar erschüttert, es treten kleine Funken an seinen Enden auf, es werden von seiner Oberfläche Theilchen losgerissen, die sich in Gestalt eines dichten Dampfes von ihm erheben, der Draht erhält scharfe Einbiegungen, die mit der Stärke der Ladung an Zahl und Stärke zunehmen, endlich bei immer mehr gesteigerter Ladung wird er rothglühend, weißglühend, er wird zerrissen und zersplittert. Bei Platindrähten zeigen die Stücke oft noch gar keine Schmelzung, die erst bei noch stärkeren Ladungen auftritt; die Zerreißung geht also der Schmelzung voran. Bei leicht oxydirbaren Metallen

steigert sich die Temperatur noch durch Aufnahme von Sauerstoff, und diese erhöhte Temperatur erleichtert dann auch die Schmelzung. Ueberall, wo die elektrische Schmelzung eintritt, ist eine mechanische Trennung der geschmolzenen Masse sichtbar, die Schmelzung kann daher nur als Wirkung der Hitze auf sehr fein zertheiltes Metall betrachtet werden. Die Elektricität schmilzt die Metalle durch gleichzeitige Zersplitterung und Erhitzung.

Geschwindigkeit der Elektricität. Mit Hülfe der Leidner Flasche hat 46
man die Geschwindigkeit zu bestimmen gesucht, mit welcher sich das elektrische Fluidum durch die Körper verbreitet. Isolirte Metalldrähte, die eine Gesammtlänge von einer halben Meile haben, werden von dem Entladungsschlage momentan durchlaufen. Diese Versuche wurden in England und Frankreich in den Jahren 1745 bis 1750 angestellt. In dieser Zeit stellte man auch Versuche über die Fortpflanzung der Elektricität im Wasser und in feuchtem Boden an. Von einem gegebenen Punkte ausgehend, wurde ein mehrere hundert Toisen langer Metalldraht, durch Pflöcke von trockenem Holze isolirt, über ein Terrain von sehr abwechselnder Natur und über Flüsse hinweggeleitet und das entfernte Ende in den Boden gesteckt. Am Ausgangspunkte wurde eine geladene Flasche auf den Boden gestellt und mit dem einen Ende des Drahtes der Knopf berührt. Der elektrische Schlag ging durch die ganze Länge des Drahtes hindurch, ging dann in den Boden über, um in demselben zur äußeren Belegung der Flasche zurückzukehren.

Der Länge des Weges und der mannigfachen Hindernisse ungeachtet, erfolgte die Entladung der Flasche ebenso momentan, als ob man einen gewöhnlichen Auslader angewendet hätte. Näheres Seite 122.

Die Lichtenbergischen Figuren, welche einen charakteristischen Unter- 47
schied zwischen den beiden Elektricitäten anzudeuten scheinen, lassen sich besonders gut mit der Leidner Flasche darstellen. Man lade die innere Belegung mit positiver Elektricität und lasse dann einen Funken vom Knopf auf eine dünne Harzscheibe schlagen. Wenn man dann die Harzscheibe mit einem Staube pudert, welcher geneigt ist, die negative Elektricität anzunehmen (wie semen licopodii, gepulvertes Colophonium u. s. w.), so zeigt der Staub die Form eines strahlenförmigen Sternes. Ladet man aber die innere Belegung mit negativer Elektricität, läßt man auf eine zweite Harzscheibe den negativen Funken vom Knopfe überschlagen, so bildet der aufgepuderte Staub strahlenlose Ringe oder Zonen. Man bedient sich zu den negativen Figuren am besten eines Staubes, der leicht positiv elektrisch wird wie fein zerriebener Mennig.

L i c h t e n b e r g setzte, um diese Figuren zu erhalten, ein Metallrohr auf die Harzplatte und ließ auf dieses den elektrischen Funken schlagen. Ein positiver Funke liefert eine strahlige Figur Fig. 127 f. S., ein negativer eine ringförmige, Fig. 126. Das anzuwendende Pulver muß recht fein seyn und wird am besten durch recht feine Leinwand durchgebeutelt. Das Pulver wird durch Reibung

an den Oeffnungen der Leinwand elektrisch und setzt sich auf denjenigen Stellen

Fig. 126.

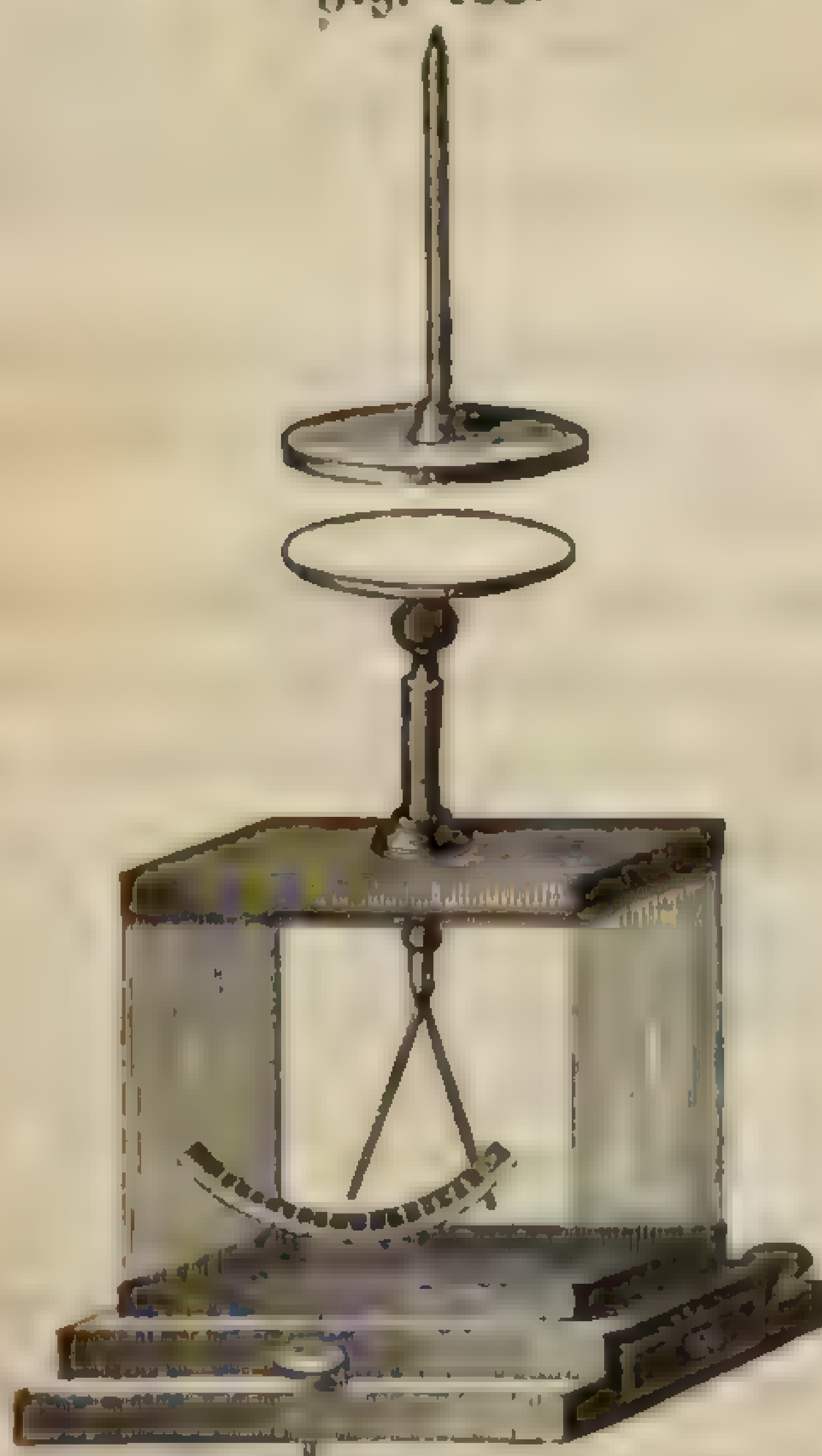


Fig. 127.



48 der Harztafel ab, welche die entgegengesetzte Elektricität haben.

Fig. 128.



Der Condensator. Eigentlich ist jeder Apparat ein Condensator, in welchem gebundene Elektricität angehäuft wird, also auch die Franklin'sche Tafel und die Leidner Flasche. Man wendet jedoch diese Benennung nur für solche Apparate an, welche dazu dienen, Elektricität von sehr geringer Spannung durch Verdichtung bemerkbar zu machen. Im Wesentlichen bestehen alle Condensatoren aus zwei leitenden Platten, welche durch eine nichtleitende Schicht getrennt sind. Indem wir die unvollkommeneren Instrumente der Art übergehen, soll hier nur von dem Condensator die Rede seyn, wie man ihn in Verbindung mit dem Goldblattelektrometer anwendet. Auf das Goldblattelektrometer wird eine Metallplatte aufgeschraubt, wie man sie Fig. 128 sieht. Die Platte ist möglichst eben abgeschliffen und auf ihrer obern Fläche mit einer ganz dünnen Schicht von Firniß versehen; dieser Firniß, durch Auflösen von Schellack in Weingeist erhalten, wird, noch sehr leichtflüssig, mit einem Pinsel aufgetragen und trocknet dann sehr rasch. Eine zweite auf dieselbe Weise präparirte Platte, welche mit einem isolirenden Stiele versehen ist, wird nun mit ihrer gefirnißten Fläche auf die erste gesetzt, so daß die beiden Metallplatten nur durch die dünne Firnißschicht getrennt sind, sonst aber so vollkommen als nur immer möglich auf einander passen. Diese Anordnung entspricht der

Franklin'schen Tafel vollkommen, die Glasplatte ist durch die dünne Schellackschicht ersetzt, die Platten dienen statt der Belegungen, nur kann man hier die obere Platte nach Belieben abheben, während die beiden Belegungen der Franklin'schen Tafel fest sind. Weil die isolirende Schicht so außerordentlich dünn ist, die Platten also einander sehr nahe sind, so ist hier eine sehr vollständige Bindung möglich. Bringt man die untere Condensatorplatte mit einer schwachen Elektricitätsquelle in Berührung, während man die obere ableitend mit dem Finger berührt, so wird der Condensator ganz auf dieselbe Weise geladen, wie die Leidner Flasche, deren äußere Belegung nicht isolirt ist, während die innere mit dem Condensator der Maschine in Verbindung steht. Der ganze Unterschied liegt nur darin, daß man ein Mal eine Elektricitätsquelle von großer, das andere Mal eine solche von geringer elektrischer Spannung hat; in beiden Fällen aber findet auf gleiche Weise eine Verdichtung der E Statt.

Ist der Condensator geladen, so wird die obere Platte abgehoben (und zwar möglichst vertikal, damit die Berührung beider Platten in allen Punkten in demselben Moment aufgehoben wird); dadurch wird die bis dahin gebundene E der untern Platte frei, sie geht in die Goldblättchen hinab und bewirkt ihre Divergenz. Weiter unten, bei der Lehre vom Galvanismus, werden wir zahlreiche Anwendungen dieses Condensators kennen lernen.

Fünftes Kapitel.

Vom elektrischen Lichte und den Bewegungen elektrisirter Körper.

Das elektrische Licht. Die stärksten elektrischen Entladungen, welche auf einem Körper angehäuft sind, geben nie auch nur den geringsten Lichtschein von sich, so lange das elektrische Gleichgewicht besteht und die elektrischen Flüssigkeiten in Ruhe sind. Die erste Bedingung für die Erscheinung des elektrischen Lichtes ist also Bewegung der Flüssigkeiten und Störung des Gleichgewichtes. Diese Bedingung ist immer nöthig, aber keineswegs hinreichend; es bedarf nämlich außerdem noch, daß die Spannung, welche das elektrische Ausströmen bedingt, hinlänglich groß sey. Während z. B. die Elektricität einer weniger kräftigen Maschine durch einen Metalldraht in den Boden überströmen kann, ohne daß man ein Leuchten im Dunkeln wahrnimmt, sieht man bei Anwendung starker Maschinen den Draht mit einem hellen Schein umgeben. Die zur Hervorbringung des elektrischen Lichtes nöthige Spannung hängt von dem Zustande, der Gestalt und der Leitfähigkeit der Mittel ab, durch welche sich die Elektricität bewegen muß. Manchmal geben ganz schwache Spannungen ein helles Licht, 49

in anderen Fällen reichen wieder die stärksten Spannungen nicht hin, den geringsten Lichtschein zu geben.

Aus stumpfen Ecken und Spitzen strömt die Elektricität von selbst, schon bei ganz schwacher Spannung, aus, und man beobachtet dabei im Dunkeln glänzende Lichtbüschel, die oft mehrere Zoll lang sind. Bei runden Körpern sind schon starke Ladungen nöthig, wenn die Elektricität von selbst ausströmen soll; wenn man ihnen aber einen mit dem Boden in Verbindung stehenden Leiter nähert, so springen Funken, nach Umständen selbst auf große Entfernungen über, die dann einen dem Blitz ähnlichen Zickzack bilden.

Fig. 129 stellt den Funken der Van Marum'schen Maschine in $1/8$ der natürlichen Größe dar; der Funke schlägt hier von einer kleinen am Conductor befindlichen Kugel zu einer größeren des Funkenziehers über.

Fig. 129.



Die Schlagweite, auf welche hin man aus einem elektrisirten Körper einen Funken ziehen kann, hängt von der Leitfähigkeit der Substanz, von der Größe ihrer Oberfläche und von der Stärke der elektrischen Ladung ab.

Um die Funken zu vervielfältigen, muß man den Leiter, durch welchen die Elektricität in den Boden überströmt, oft unterbrechen, darauf beruhen mehrere Spielereien.

Mit Metallperlen, die auf einem Seidenfaden aufgereiht sind, jedoch so, daß jede Perle von der folgenden durch Knoten ungefähr ein Millimeter weit entfernt gehalten wird, kann man Namenszüge und allerlei Figuren bilden, welche so lange leuchten, als man die Maschine dreht, von deren Conductor die Elektricität durch diese Kette in den Boden strömt.

Blitzröhren sind Glasröhren, auf welchen man rautenförmige Stanniolblättchen so aufgeklebt hat, daß ihre einander zugekehrten Spitzen etwa so nahe stehen, wie man Fig. 130 sieht. Gewöhnlich klebt man sie so auf, daß sie eine um die Röhre laufende Schraubenlinie bilden. Wenn man das eine Ende einer solchen Röhre in der Hand haltend, das andere an den Conductor der Maschine bringt, während sie gedreht wird, so sieht man im Dunkeln fortwährend zwischen je zwei Rauten Funken überspringen, so daß eine fast zusammenhängende Lichtlinie auf der Röhre erscheint.

Fig. 130.



Eine Blitztafel ist Fig. 131 dargestellt. Auf einer Glastafel ist eine

Reihe von Stanniolstreifen aufgeklebt, wie man es in der Figur sieht, so daß von *a* bis *z* eine metallische Leitung ginge, wenn sie nicht an den mit × bezeichneten Stellen unterbrochen wäre. Wenn man nun *z* mit der äußern Belegung einer Leidner Flasche in Verbindung bringt und dann eine leitende Verbindung zwischen *a* und dem Knopfe der Flasche herstellt, so springen gleichzeitig an allen Unterbrechungsstellen Funken über. Man kann auf diese Weise Namenszüge und allerlei Figuren darstellen.

Man hat diese Spielereien noch auf mannigfache Weise abgeändert, diese Beispiele mögen jedoch genügen.

Wenn man den Conductor der Elektrisirmaschine mit einer kleinen Kugel von 3 bis 6 Linien Durchmesser versieht und diesem eine zum Boden abgeleitete Metallfläche oder die Hand nähert, so erhält man stark verästelte Funken, die bei größerer Annäherung in gewöhnliche Funken übergehen. Wenn die Maschine recht kräftig wirkt, so gehen diese verästelten Funken mehr und mehr

Fig. 131.

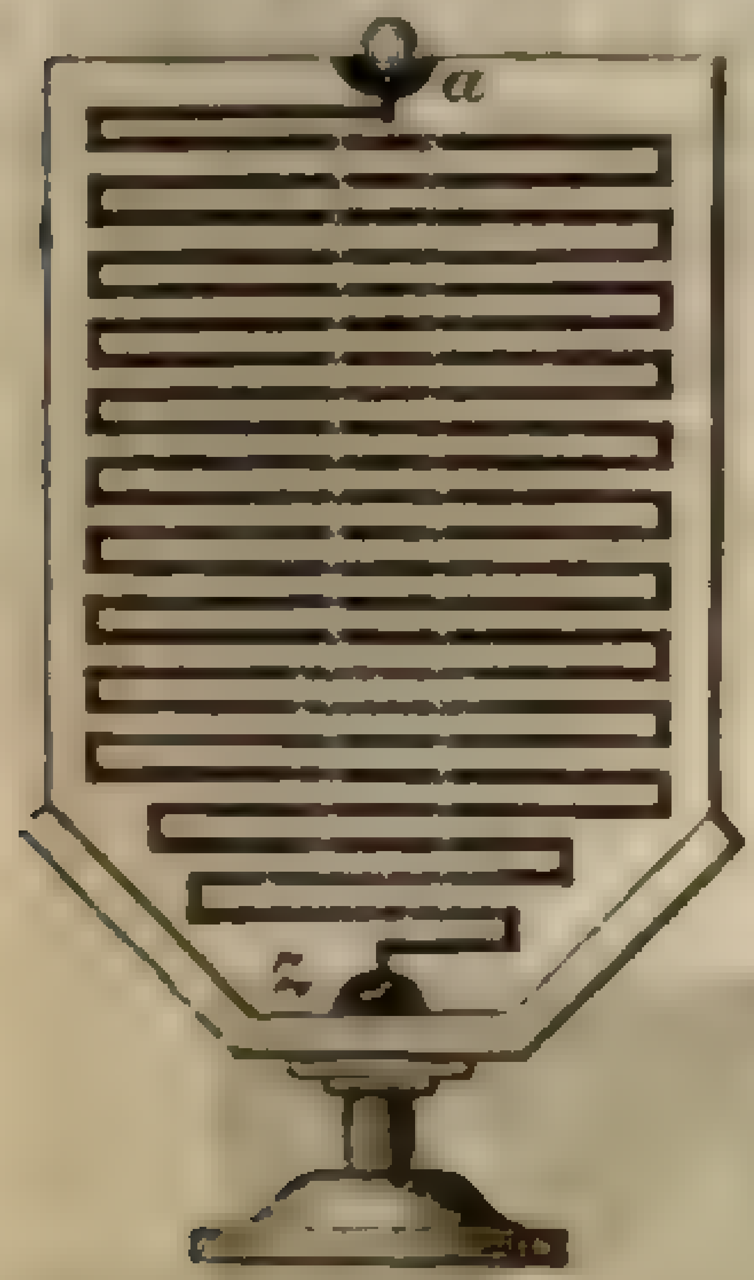
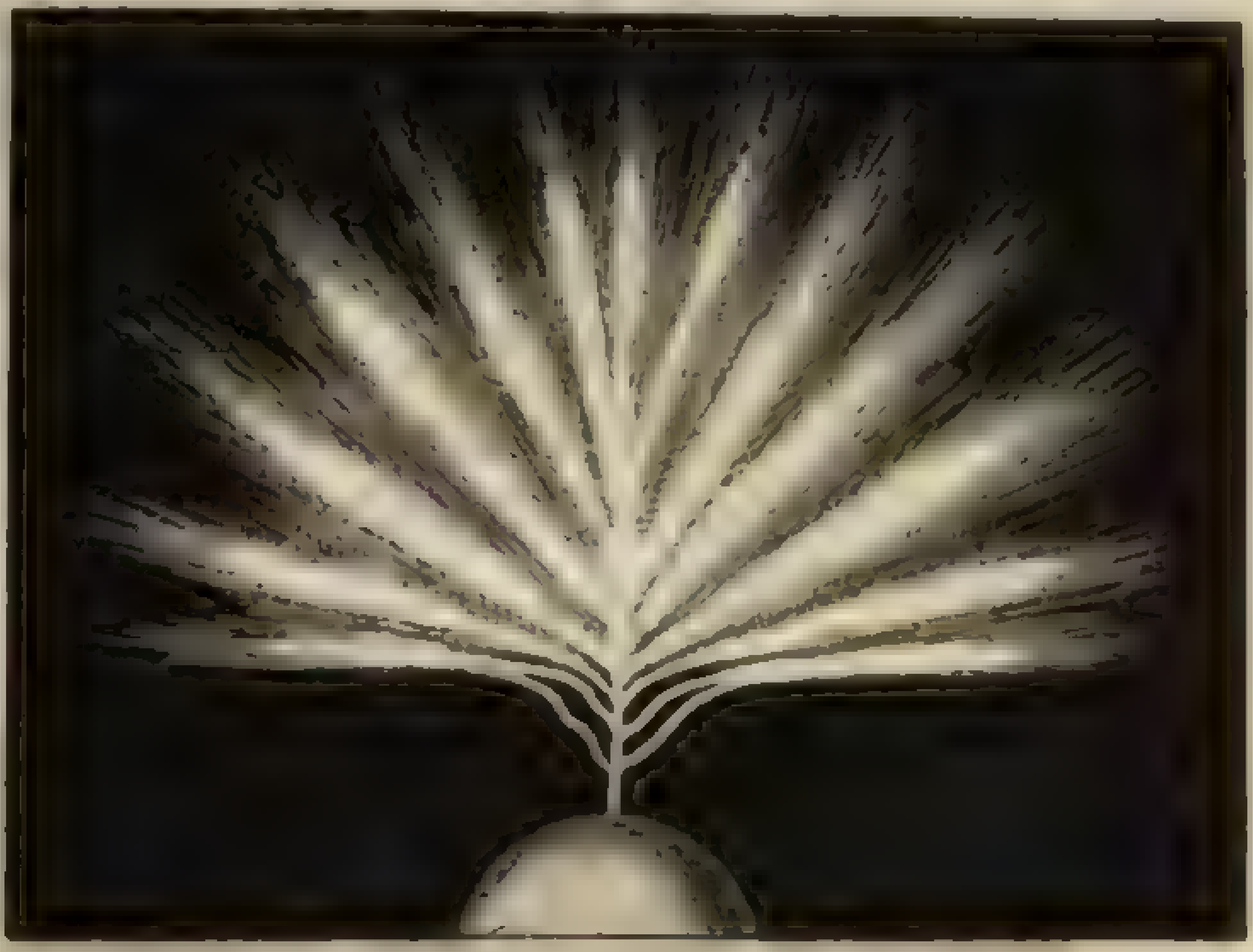


Fig. 132.



in einen förmlichen nur im Dunkeln bemerkbaren Büschel über, der aber noch deutlich aus einzelnen, mit Geräusch überschlagenden verästelten Funken besteht. Das Ausströmen der Elektricität wird immer gleichförmiger, je stärker die Maschine wirkt oder je kleiner die Kugel ist. — Hat die Kugel eine die Kraft der Maschine entsprechende Größe, so ist die Anhäufung der Elektricität in derselben so stark, daß sich büschelförmige Ausströmungen selbst gegen Halbleiter, wie Holz u. s. w., ja gegen die Luft allein stattfinden.

Van Marum's berühmte Maschine ist so kräftig, daß sie aus einer Kugel von $3\frac{1}{2}$ Zoll Durchmesser einen Lichtbüschel von der Fig. 132 in $\frac{1}{10}$ der natürlichen Größe abgebildeten Form liefert. Bei schwachen Maschinen erhält man die durch freie Ausstrahlung entstehenden Büschel am besten, wenn man auf den Conductor einen am Ende abgerundeten Messingstab von 1 bis 2 Linien Durchmesser aufsetzt.

Je dünner das Ende des Metallstabes gemacht wird, welchen der Büschel geben soll, desto continuirlicher wird die Entladung, d. h. desto weniger sind einzelne Verzweigungen im Büschel zu unterscheiden, und desto kleiner wird

der Büschel, der endlich in einen kleinen leuchtenden Punkt übergeht, wenn der Draht in eine Spitze ausläuft. Bei stärkeren Maschinen beobachtet man selbst am Ende etwas dickerer Stäbe ein gleichförmiges ruhiges Glimmen.

Für positive Elektricität sind die Büschel am größten; ist der Conductor mit negativer Elektricität geladen, so sind die Büschel kleiner und gehen viel eher in einen kleinen leuchtenden Stern und in ruhiges Glimmen über.

Die Büschel erhält man nicht bloß, wenn man auf den Conductor der Elektrisirmaschine eine kleine Kugel oder einen abgerundeten Metallstab aufsetzt, sondern auch wenn man eine solche kleine Kugel oder einen solchen Stab ableitend berührt und gegen den Conductor der Maschine hält; es strömt alsdann die durch Vertheilung im Stabende angehäufte Elektricität in Büschelform gegen den Conductor aus. Hält man eine Spitze dem Conductor entgegen, so erscheint an derselben der kleine leuchtende Stern.

Wenn man an den Funkenzieher *N*, Fig. 82, einer kräftigen Elektrisirmaschine einen ganz dünnen Metalldraht hält, welcher fast bis auf den Boden herabhängt, so wird dieser Draht im Dunkeln leuchtend, so oft ein Funken vom Conductor auf den Funkenzieher überspringt. Es schießen dabei aus dem Drahte nach allen Seiten hin kurze Strahlen hervor; Van Marum hat mit seiner trefflichen Maschine diese Erscheinnng entdeckt und in großem Maaßstabe dargestellt. Fig. 133 stellt ein Stück von Van Marums leuchtendem Drahte in verkleinertem Maaßstabe dar. — Mit schwachen Maschinen läßt sich das Leuchten des Drahtes nicht hervorbringen, wenn sich derselbe nicht in einem luftverdünnten Raume befindet.

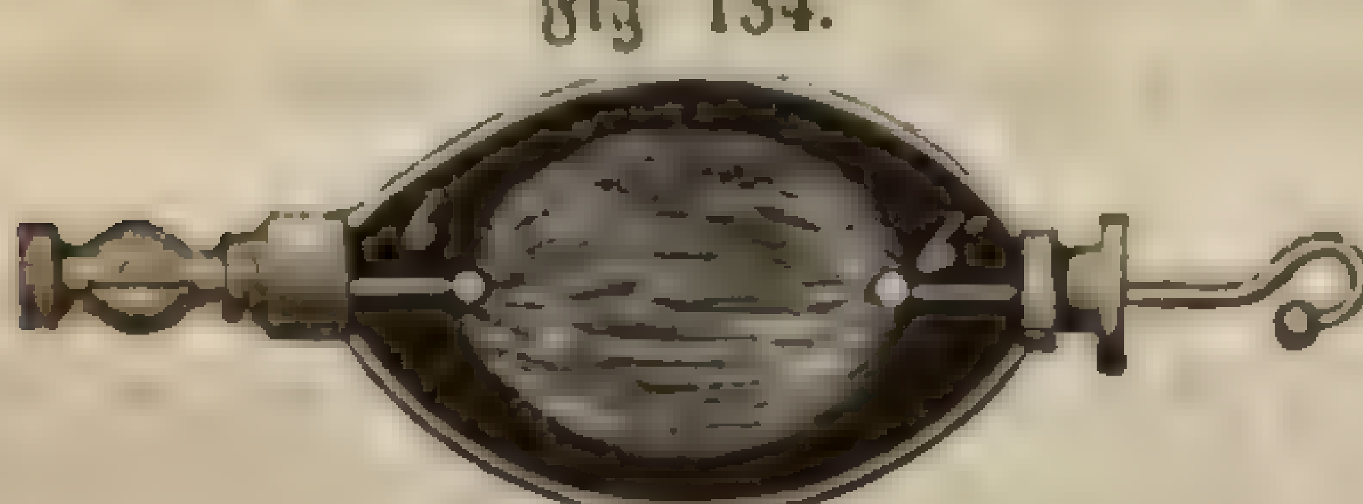
Fig. 133.



Da der luftleere Raum den Uebergang der Elektricität sehr erleichtert, so begünstigt er auch sehr die elektrischen Lichterscheinungen. Im luftverdünnten Raume schlägt der elektrische Funken auf große Entfernungen über und breitet sich in prachtvolle Lichtgarben von blaßvioletter Farbe aus; im luftverdünnten Raume werden die elektrischen Leichtbüschel viel größer und schöner. Das Leuchten eines dünnen Drahtes läßt sich im luftleeren Raume schon mit schwächeren Maschinen hervorbringen.

Fig. 134 stellt einen Apparat dar, wie er häufig angewandt wird, um das elektrische Licht im verdünnten Raume zu zeigen. An beiden Enden eines elliptischen Gefäßes sind Metallfassungen angekittet; die Fassung auf der einen Seite ist mit einem Hahn versehen und kann auf eine Luftpumpe aufgeschraubt werden. Die Fassung der andern Seite

Fig 134.



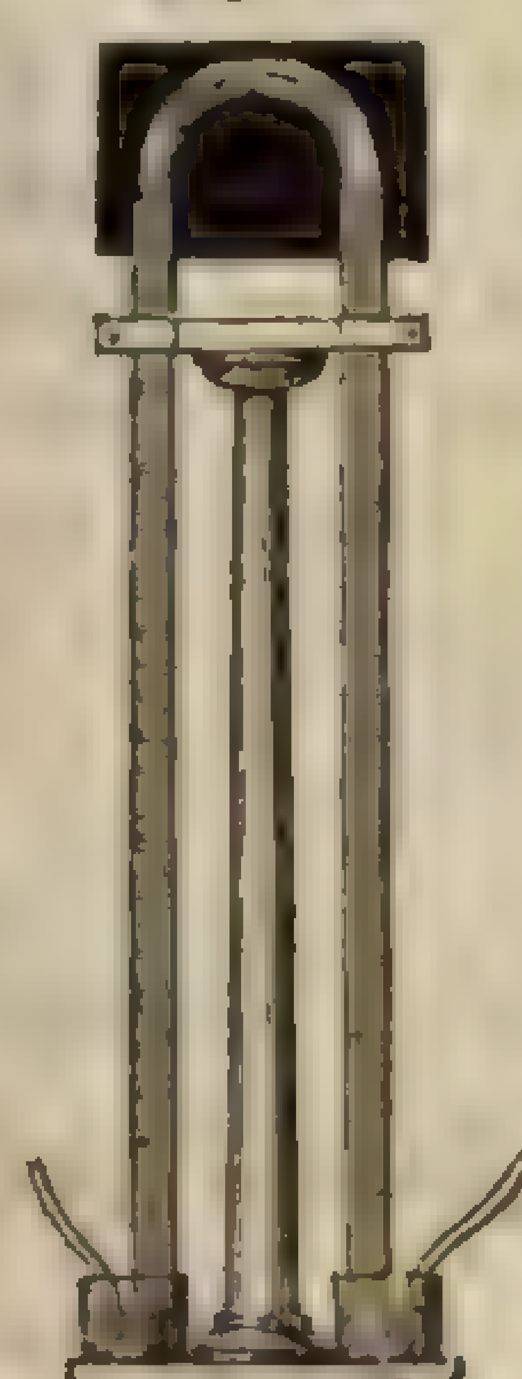
ist mit einer Lederbüchse versehen, durch welche der mit dem Knopf b' endigende Messingdraht hindurchgeht, so daß man den Knopf b' nach Belieben dem Knopfe b nähern kann. Wenn man den Apparat möglichst luftleer gemacht hat, so strömt die Elektricität leicht über und erfüllt das ganze Gefäß mit Licht. Wenn man durch den Hahn etwas Luft einströmen läßt, so wird das Licht weniger diffus und bildet purpurfarbene Lichtbogen zwischen b und b'. Je mehr Luft man einläßt, desto mehr nimmt die Ausdehnung der Lichterscheinung ab, sie nähert sich mehr und mehr der Form des gewöhnlichen elektrischen Funkens.

Am bequemsten lassen sich Lichterscheinungen im verdünnten Raume mit einer Luftpumpenglocke machen, welche oben eine Messingfassung mit einer Stopfbüchse hat, durch welche ein Messingstab hindurchgeht, den man auf und nieder ziehen kann, und an dessen unterm Ende eine Kugel oder irgend ein anderes geformtes Metallstück angeschraubt ist. In Fig. 135 ist eine solche Luftpumpenglocke abgebildet.

Fig. 135.



Fig. 136.



Auch die Toricellische Leere durchströmt die Elektricität mit Lichterscheinung.

Picard bemerkte zuerst, daß ein Barometer im Dunkeln leuchtet, wenn das Quecksilber auf und nieder schwankt, und bald überzeugte man sich, daß diese Erscheinung von der durch die Reibung des Quecksilbers an den Wänden der Röhre entwickelten Elektricität herrühre. Um das elektrische Licht in der Toricellischen Leere zu beobachten, construirte Cavendish das Fig. 136 dargestellte Doppelbarometer, dessen Anwendung wohl ohne weitere Erklärung verständlich ist.

Dauer des elektrischen Funkens. Ueber die Dauer des elektrischen Lichtes 50
hat Wheatstone wichtige Untersuchungen angestellt. In Fig. 137 sey a ein leuchtender Punkt, etwa eine Kerze, b sey ein ebener Spiegel, dessen Ebene vertikal steht, und welcher um eine vertikale Axe drehbar ist, c endlich sey das Auge des Beobachters; $a\,b\,c$ sollen in einer Horizontalebene liegen. Wenn der Spiegel ruhig steht, sieht das Auge c das Bild des Punktes a im Spiegel b an einer bestimmten Stelle, die sich ändert, wenn der Spiegel gedreht wird; ist die Drehung rasch genug, so erscheint statt des Kerzenbildes ein Lichtstreif, indem der Lichteindruck von allen den Stellen, welche das Kerzenbild nach und nach durchläuft, nach einer Zeitlang im Auge noch wirkt, und man so den Lichteindruck von den früheren Stellungen des Bildes noch wahrnimmt, während es schon an einer ganz andern Stelle angekommen ist.

Fig. 137.



Wenn man nun dafür sorgt, daß an der Stelle der Kerze ein elektrischer Funken überspringt, so wird bei rascher Rotation des Spiegels das Bild des

Funkens ebenfalls in die Länge gezogen erscheinen, wenn der elektrische Funken nur eine ganz geringe Dauer hat.

Der Spiegel war an einem rotirenden Apparat so befestigt, daß er 50 Umdrehungen in einer Sekunde machte; um einen Bogen von 1^0 zu durchlaufen, brauchte also der Spiegel $\frac{1}{50 \,.\, 360}$tel, und also, um einen Winkel von $\frac{1}{2}^0$ zu durchlaufen, $\frac{1}{36000}$tel Sekunde. Nun aber ist den Lehren der Optik zufolge die Winkelgeschwindigkeit des Bildes doppelt so groß als die des Spiegels, folglich legt das Bild in $\frac{1}{72000}$tel Sekunde einen Bogen von $\frac{1}{2}$ Grad zurück, wenn also die Dauer des elektrischen Funkens auch nur $\frac{1}{72000}$tel Sekunde betrüge, so müßte schon sein Bild im rotirenden Spiegel als ein $\frac{1}{2}^0$ breiter Streifen erscheinen.

Nach einander bot nun Wheatstone in einer Entfernung von 10 Fuß dem Spiegel 4 Zoll lange Funken einer Elektrisirmaschine dar, ferner Entladungen einer Leidner Flasche, ein 4 Fuß langes Glasrohr, worin der elektrische Funken längs einer schraubenförmigen Reihe von Scheibchen aus Zinnfolie überspringen mußte, ein luftleeres Glasrohr von 6′ Länge, in welchem der Funken beim Durchgang eine ununterbrochene Linie von geschwächtem elektrischen Lichte erzeugte u. s. w. Allein in allen diesen Fällen erschienen die reflectirten Bilder, wenn sie innerhalb des Gesichtsfeldes auftraten, vollkommen umgeändert und genau auf eben die Weise, als ob sie von dem ruhenden Spiegel reflectirt worden wären.

Die Dauer eines solchen elektrischen Funkens beträgt also sicherlich nicht mehr als $\frac{1}{72000}$tel Sekunde.

Wenn ein Rad rasch umgedreht wird, so kann man die einzelnen Speichen nicht mehr unterscheiden, wenn aber ein rasch rotirendes Rad in einem dunkeln Zimmer plötzlich durch einen elektrischen Funken erleuchtet wird, so unterscheidet man die einzelnen Speichen deutlich, als wenn das Rad ganz in Ruhe wäre.

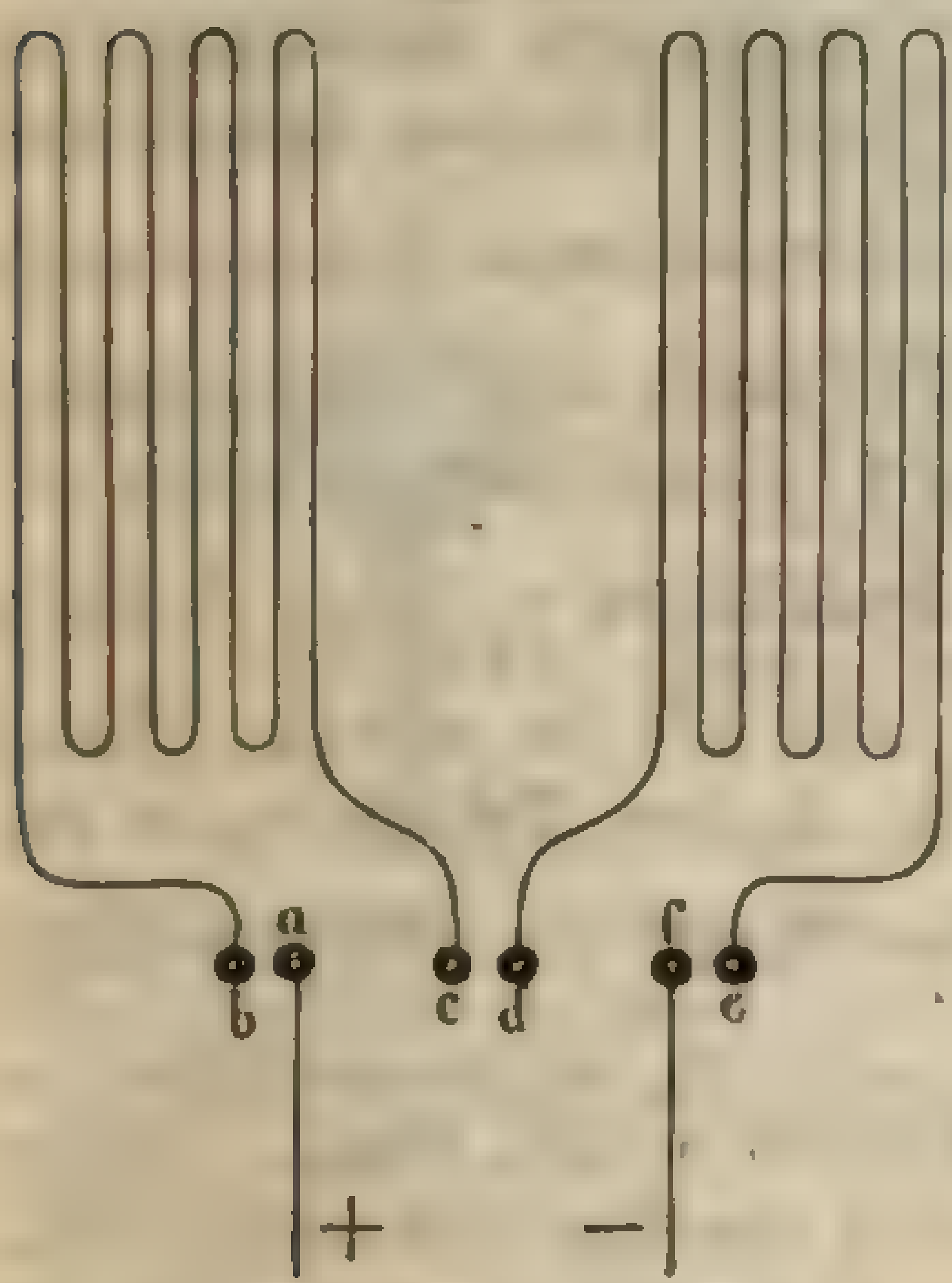
Hält man eine evacuirte Röhre nahe an den Conductor der Elektrisirmaschine, so erblickt man zuweilen einen zusammenhängenden Lichtstrom, untersucht man aber denselben in dem Spiegel, so findet man, daß diese Continuität nur scheinbar ist und von einer raschen Folge vorübergehender Blitze herrührt.

Wheatstone wandte den rotirenden Spiegel auch an, um die Geschwindigkeit zu ermitteln, mit welcher die Elektricität einen sehr langen Leiter durchläuft. Die Vorrichtung, die er dazu angewandt hat, war ungefähr folgende:

Auf einem $3\frac{1}{2}$ Zoll im Durchmesser haltenden Brett, dem Funkenbrett, waren 6 Kugeln, *a*, *b*, *c*, *d*, *n* und *f* (Fig. 138) gehörig isolirt befestigt. An der Kugel *a* war ein Draht befestigt, welcher mit der innern Belegung einer Leidner Flasche in Verbindung gebracht werden konnte; die Kugel *b* war von *a* um 0,1

Zoll entfernt, von *b* aber führte ein Draht in vielen Windungen nach der Kugel *c*.

Fig. 138.



Die Kugel *d* war nun ebenfalls 0,1 Zoll von *c* entfernt, und von *d* führte ein gleichfalls vielfach gewundener Draht zur Kugel *e*, welcher in einer Entfernung von 0,1 Zoll der Kugel *f* gegenüberstand, von welcher endlich ein Draht zur äußeren Belegung der Flasche führte. Wenn nun der letzterwähnte Draht wirklich die äußere Belegung der geladenen Flasche berührt, so mußte, wenn man mit dem an *a* befestigten Drahte die Kugel der Flasche berührte, ein Funken zwischen *a* und *b*, ein zweiter zwischen *c* und *d*, ein dritter zwischen *e* und *f* überspringen.

Es fragt sich nun, sind diese 3 Funken vollkommen gleichzeitig, auch wenn die Länge der Drahtwindungen sehr bedeutend ist?

Bei den von Wheatstone angestellten Versuchen betrug die Länge der Drahtwindungen zwischen *b* und *c* $\frac{1}{4}$ englische Meile. Ebenso lang war die Länge des Drahtes zwischen *d* und *e*, so daß der Weg, welchen der elektrische Strom von der inneren zu der äußeren Belegung zu durchlaufen hatte, $\frac{1}{2}$ englische Meile betrug.

Die 6 Kugeln des Funkenbrettes lagen in einer horizontalen Linie.

Zehn Fuß vom Funkenbrett entfernt in gleicher Höhe mit demselben war nun der Apparat mit dem rotirenden Spiegel angebracht. Diesmal war die Rotationsaxe wagerecht und den 6 Kugeln parallel. Der Beobachter stellte sich so, daß die Rotationsaxe gerade gegen ihn gerichtet war, und sah dann von oben auf den Spiegel herab. Die Kugeln oder vielmehr die zwischen ihnen überspringenden Funken waren also sichtbar, wenn der Spiegel gerade einen Winkel von 45° mit der Horizontalen machte. Wäre der Spiegel in dieser Stellung ruhig stehen geblieben, so würde man die Bilder der drei Funken so ⁝ gesehen haben, bei rascher Rotation aber erscheinen alle drei in die Länge gezogen und außerdem erschien die mittlere noch gegen die äußeren verrückt, und zwar so ═—, wenn der Spiegel von der rechten zur linken rotirte, und so —═, wenn die Richtung der Rotation die entgegengesetzte war.

Daraus ergeben sich nun folgende wichtige Resultate:

1) Wenn der Entladungsdraht sehr lang ist, so erfolgt keine momentane, sondern eine successive Entladung, weshalb die Funken in die Länge gezogen erscheinen.

2) Da die beiden äußeren Funken im Spiegelbilde ihre gegenseitige Lage behalten, so erscheinen also die beiden äußeren Funken vollkommen gleichzeitig, der elektrische Strom beginnt also gleichzeitig von den beiden Belegungen gegen

die Mitte des Entladungsdrahtes hin, der mittlere Funken erscheint aber später, da sein Bild gegen das der äußeren Funken verrückt erscheint.

Bei diesem Rotationsapparate machte der Spiegel 800 Umdrehungen in der Sekunde, woraus folgt, daß, wenn der Funken nur einen Bestand von $\frac{1}{1152000}$ Sekunde hat, er um einen halben Grad verlängert erscheinen muß, also ungefähr so lang, wie ein Zoll in einer Entfernung von 10 Fuß erscheint.

Die Verschiebung des mittleren Funkenbildes gegen die äußeren betrug ungefähr $1/2^0$, der mittlere Funken erschien also ungefähr um $\frac{1}{1152000}$ Sekunde später als die beiden äußeren, in dieser Zeit hatte also der elektrische Strom einen Weg von $1/4$ englische Meile zurückgelegt, in einer Sekunde legt er also einen Weg von $\frac{1152000}{4} = 288000$ englischen Meilen (= 60000 deutschen Meilen) zurück, eine Geschwindigkeit, welche größer ist, als die des Lichtes im Weltraum, welches in einer Sekunde nur 194000 englische Meilen (42000 deutsche Meilen) durchläuft. Da der Erdumfang ungefähr 5700 deutsche Meilen beträgt, so ist also die Geschwindigkeit der Elektricität eine solche, daß ein elektrischer Strom die Erde in einer Sekunde 10 mal umkreisen würde.

51 **Bewegungen, welche durch das Ausströmen von Elektricität hervorgebracht werden.** Die Anziehungs- und Abstoßungserscheinungen sind bereits besprochen worden, es bleiben hier nur noch einige andere durch die Elektricität bewirkte Bewegungen zu betrachten. Auf eine leitende Spitze *c p*. Fig. 139, welche mit dem Conductor der Maschine in Verbindung steht, ist ein an beiden Enden nach entgegengesetzten Richtungen umgebogenes und zugespitztes Metallstäbchen *t l'* so aufgesetzt, daß es sich im Gleichgewicht befindet, aber sich leicht auf der Spitze in horizontaler Ebene umdrehen läßt. Ein solcher Apparat führt den Namen eines elektrischen Flugrades. Sobald die Maschine gedreht wird, beginnt das Flugrad zu rotiren, und wenn man es im Dunkeln beobachtet, sieht man an den Spitzen die Elektricität in Gestalt von Lichtbüscheln ausströmen.

Fig. 139.

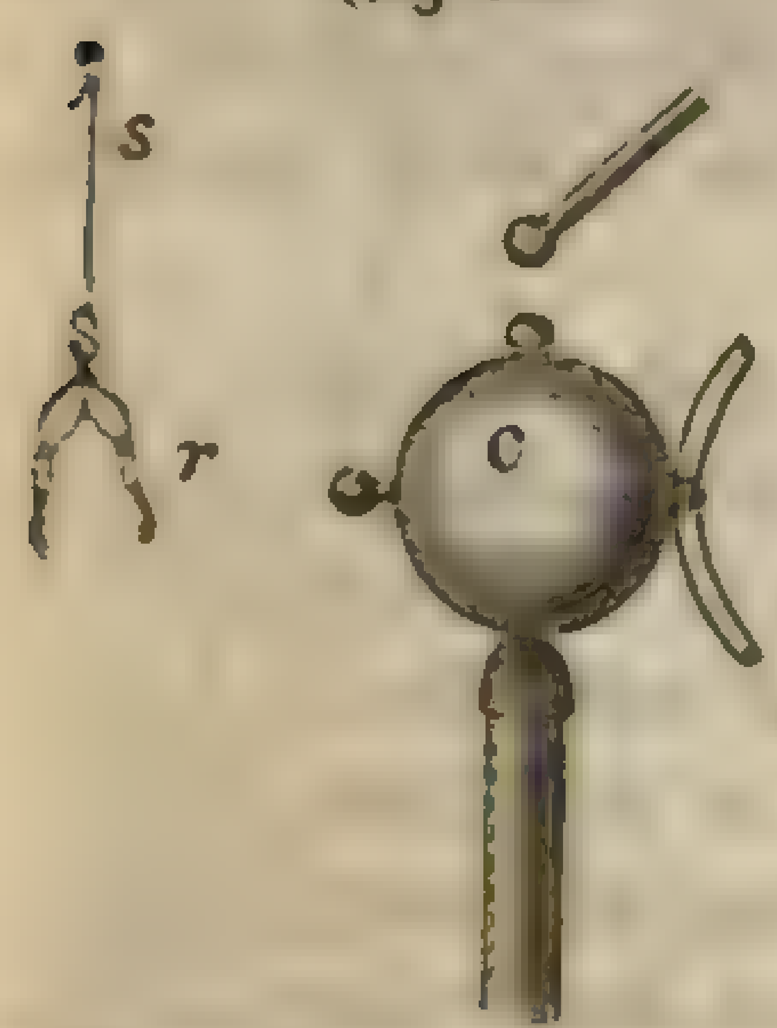


Diese Bewegung wird durch das Ausströmen des elektrischen Fluidums aus den beiden Spitzen hervorgebracht und ist eine der Umdrehung der Segner'schen Wasserräder ganz analoge Erscheinung.

52 **Bewegungen durch den elektrischen Rückschlag.** Froschschenkel, die wie Fig. 140 zeigt, in der Nähe des Conductors einer Elektrisirmaschine aufgehängt sind, scheinen gar keine Veränderung zu erleiden, wenn durch Drehen der Maschine der Conductor *c* mit $+E$ geladen wird; jedoch wird er durch Vertheilung elektrisch, die angezogene $-E$ sammelt sich bei *r*, die abgestoßene $+E$ entweicht durch den Draht *s* in den Boden. Sobald man nun

aus dem Conductor *c* einen Funken zieht, bringt die plötzliche Wiedervereinigung der Elektricitäten in dem Froschschenkel Zuckungen hervor, ein Beweis, daß bei der Rückkehr in den natürlichen Zustand die Moleküle der Körper durch den Druck der elektrischen Flüssigkeiten afficirt werden, welche sich wieder zu vereinigen streben. Diese Wirkungen werden mit dem Namen des Rückschlags bezeichnet. Mit einem Frosche, welcher schon 5—6 Stunden getödtet ist, würde man den Versuch vergebens anstellen, er gelingt aber sehr gut an einem eben getödteten oder noch besser mit einem noch lebenden.

Fig. 140.



In der Nähe einer kräftigen Maschine empfindet auch ein Mensch, der mit dem Boden in leitender Verbindung steht, ähnliche Schläge. Später, wenn von den Wirkungen des Blitzes die Rede seyn wird, werden wir sehen, daß eine Gewitterwolke durch einen directen Schlag und durch den Rückschlag wirken kann.

Sechstes Kapitel.

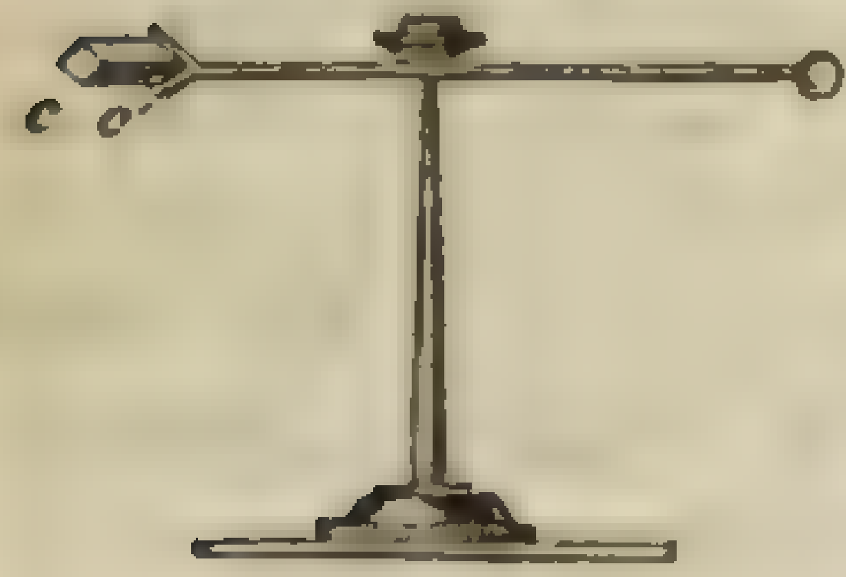
Elektricität, entwickelt durch Druck und Wärme.

Wir haben gesehen, daß, wenn man zwei Flächen durch Reiben an einander 53 elektrisch macht, die eine positiv, die andere negativ elektrisch wird; wir haben ferner gesehen, daß die Spannung der Elektricität, welche unter diesen Umständen entwickelt wird, von der Natur der Körper, dem Zustande der Oberflächen und ihrer Temperatur abhängt. Diese mechanische Ursache der Elektricitätsentwickelung ist jedoch nicht die einzige; durch Veränderungen des Drucks und der Temperatur wird ebenfalls Elektricität frei.

Elektricitätsentwickelung durch Druck. Wenn man eine Metall- 54 platte auf ein Stück Wachstaffent setzt und sie an einem isolirenden Handgriff aufhebt, nachdem man etwas gedrückt hat, so findet man, daß die Metallplatte negativ, der Taffent positiv elektrisch geworden ist. Dieser Versuch rührt von Libes her. Haüy hat gezeigt, daß auch viele Mineralien mit glatten und polirten Oberflächen durch Druck elektrisch werden. Ein Stück Kalkspath mit ebenen und parallelen Flächen z. B. wird, wenn man es etwas zwischen den Fingern drückt, ziemlich stark positiv elektrisch. Dasselbe findet auch beim Topas, dem Flußspath, dem Glimmer, dem Arragonit, dem Quarz und mehreren anderen Substanzen Statt, jederzeit hängt aber die entwickelte Elektricität von der Natur des drückenden Körpers ab. Haüy hat auch gefunden, daß die durch Druck elektrisch gewordenen Mineralien die Eigenschaft haben, mehrere Stunden, ja selbst mehrere Tage lang elektrisch zu bleiben. In dieser Hinsicht ist der Kalkspath ganz besonders merkwürdig, indem er selbst noch nach 11 Tagen entschiedene Zeichen von Elektricität giebt. Auf dieser Eigenschaft des

Kalkspaths beruht die von Haüy construirte elektrische Nadel, welche Fig. 141 abgebildet ist. Sie ist der auf Seite 62 beschriebenen gewöhnlichen elektrischen Nadel ganz ähnlich, nur ist an dem einen Ende statt der Kugel von Metall ein Stückchen Kalkspath $c\,c'$ befestigt, welches durch Drücken zwischen den Fingern elektrisch gemacht wird.

Fig. 141.



55 **Elektricitätserregung durch Wärme.** Der Turmalin hat die Eigenschaft, leichte Körper anzuziehen und abzustoßen, wenn er erwärmt wird; in Indien, wo dies Mineral sehr verbreitet ist, kannte man diese Eigenschaft schon vor Jahrhunderten. Eine so auffallende Erscheinung konnte der Aufmerksamkeit der Reisenden nicht entgehen; die Holländer machten diese merkwürdigen elektrischen Eigenschaften des Turmalins in Europa bekannt, wo sie bald von den Physikern näher untersucht wurden. Ganz besonders beschäftigten sich Canton, Priestley, Bergmann, Aepinus und Haüy damit. Folgende sind die wichtigsten Resultate ihrer Untersuchungen.

1) Ein durch Erwärmen elektrisch gemachter Turmalinkrystall zeigt an den beiden Enden seiner krystallographischen Hauptaxe zwei entgegengesetzte Pole, d. h. an einem Ende ist er positiv, am andern negativ elektrisch. Die elektrischen Flüssigkeiten sind also in dem Turmalin ungefähr auf die Weise vertheilt, wie die magnetischen Fluida in einem Stahlstab.

2) Wenn man einen Turmalin, während er elektrisch ist, quer durchbricht, so hat jedes Stück wieder seine beiden Pole.

3) Für jeden Turmalin giebt es zwei Temperaturgränzen, zwischen welchen die elektrischen Erscheinungen stattfinden. Unterhalb und oberhalb dieser Gränze verhält sich der Turmalin wie jeder andere Körper, er zeigt keine elektrische Polarität. Diese Temperaturgränzen sind gewöhnlich 10° und 150°. Für Turmaline von gleichen Dimensionen sind diese Gränzen fast dieselben, sie ändern sich aber mit der Länge.

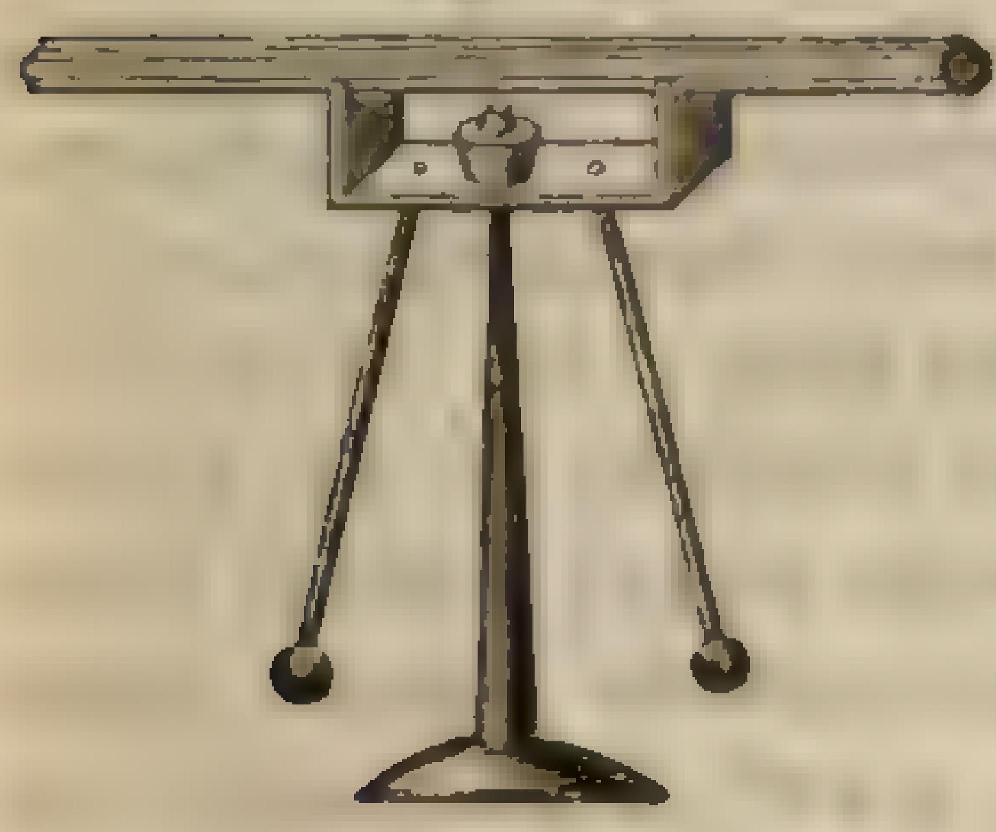
4) Wenn man einen Turmalin regelmäßig erwärmt, d. h. so, daß an allen Punkten seiner Oberfläche das Steigen der Temperatur dasselbe ist, so wird das eine Ende positiv, das andere negativ, und jeder Pol behält seine Elektricität, so lange die Temperatur steigt.

5) Wenn ein Turmalin durch Erwärmen elektrisch geworden ist und darauf regelmäßig erkaltet, so verschwindet für einen Augenblick alle Elektricität, dann kehrt sich die Polarität um, d. h. derjenige Pol, welcher während des Erwärmens positiv war, wird jetzt negativ; der bisher negative wird positiv. Dann aber bleibt die Lage der Pole unverändert, so lange die Temperatur sinkt.

6) Die polarischen Eigenschaften scheinen nur von dem Wechsel der Temperatur abzuhängen, so daß ein Turmalin bei einer gegebenen Temperatur sich in drei verschiedenen Zuständen befinden kann; bei unveränderter Temperatur ist er nämlich im natürlichen Zustande, er erhält aber eine bestimmte Polarität, wenn die Temperatur im Steigen, die entgegengesetzte, wenn sie im Sinken ist.

7) Haüy hat manchmal eine Umkehrung der Pole während des Erwärmens und während des Erkaltens beobachtet. Diese Erscheinung, welche nicht immer stattfindet, hängt vielleicht von der verschiedenen Temperatur der äußeren und inneren Schichten ab.

Fig. 142.



Um die hier besprochenen elektrischen Erscheinungen des Turmalins zu untersuchen, haben die meisten Beobachter den zu untersuchenden Krystall in einem Papierschiffchen an einem ungedrehten Faden aufgehängt, so daß seine Längenaxe horizontal liegend sich leicht in dieser horizontalen Ebene um die vertikale durch den Faden gebildete Axe drehen kann; Haüy legte ihn auf den Fig. 142 dargestellten Apparat. Die Polarität des Stängelchens läßt sich nun leicht durch Annäherung eines elektrischen Körpers, z. B. einer geriebenen Siegellackstange, nachweisen, welche das eine Ende der Säule anzieht, das andere dagegen abstößt.

Schon Haüy erkannte, daß das Auftreten der Elektricität beim Erwärmen gewisser Krystalle mit der Hemiëdrie derselben im Zusammenhang stehe, ohne jedoch die Art dieses Zusammenhanges näher zu verfolgen. Brewster (Pogg. Ann. 2. Bd. p. 301) entdeckte später viele Körper, welche beim Erwärmen polar-elektrisch werden, ohne daß an den Krystallen derselben bis jetzt eine Hemiëdrie beobachtet worden wäre; daher man noch nicht berechtigt ist, anzunehmen, daß polarische Elektricität und polarische Hemiëdrie stets eine Folge von einander sind.

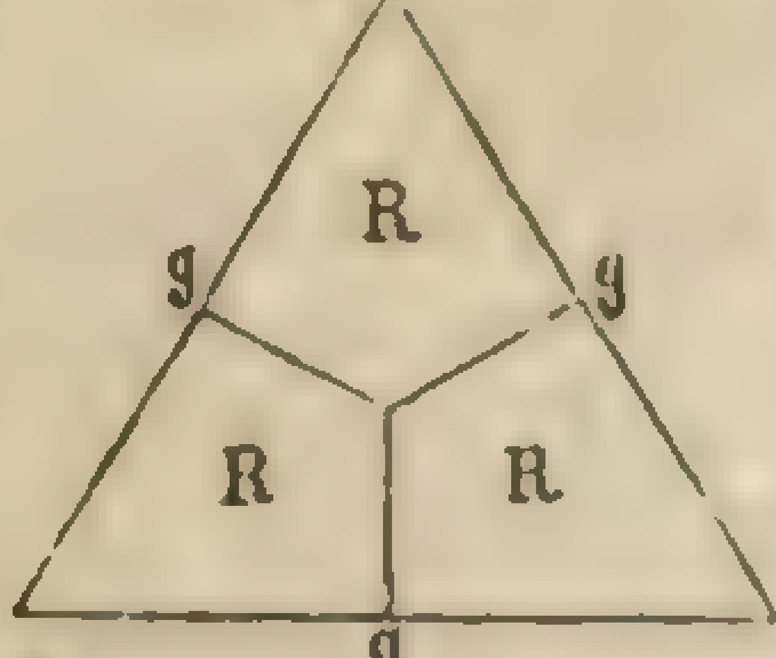
Die Erscheinung der polaren Elektricität während des Erwärmens oder des Erkaltens findet sich aber doch am stärksten an hemiëdrischen Krystallen ausgeprägt und hier findet auch ein bestimmter Zusammenhang zwischen der elektrischen Polarität und der Krystallform Statt. Köhler (Pogg. Ann. 13. Bd. p. 629) hat diesen Zusammenhang für Borazit und Kieselzinkerz nachgewiesen, bei dem Turmalin aber hatte er einen solchen noch nicht ausfindig gemacht.

Rose (Pogg. Ann. 39. Bd. p. 285) hat die Beziehungen der elektrischen Polarität des Turmalins zu seiner Krystallform ausführlich untersucht und gelangte zu folgendem Resultate: Die vorherrschende Form des Turmalins ist eine dreiseitige Säule, welche an beiden Enden durch Rhomboëderflächen begränzt ist; an dem einen Ende nun treffen die Kanten des Rhomboëders auf die Kanten der Säule, wie Fig. 143, wo *g* die zur Linie verkürzten Säulenflächen, *R* die Rhomboëderflächen sind. Am andern Ende aber treffen die Rhomboëderkanten auf die Mitte der Säulenflächen wie Fig. 144 zeigt. Während die Temperatur steigt, zeigt nun das Ende Fig. 143 positive, das Ende Fig. 144

Fig. 143.



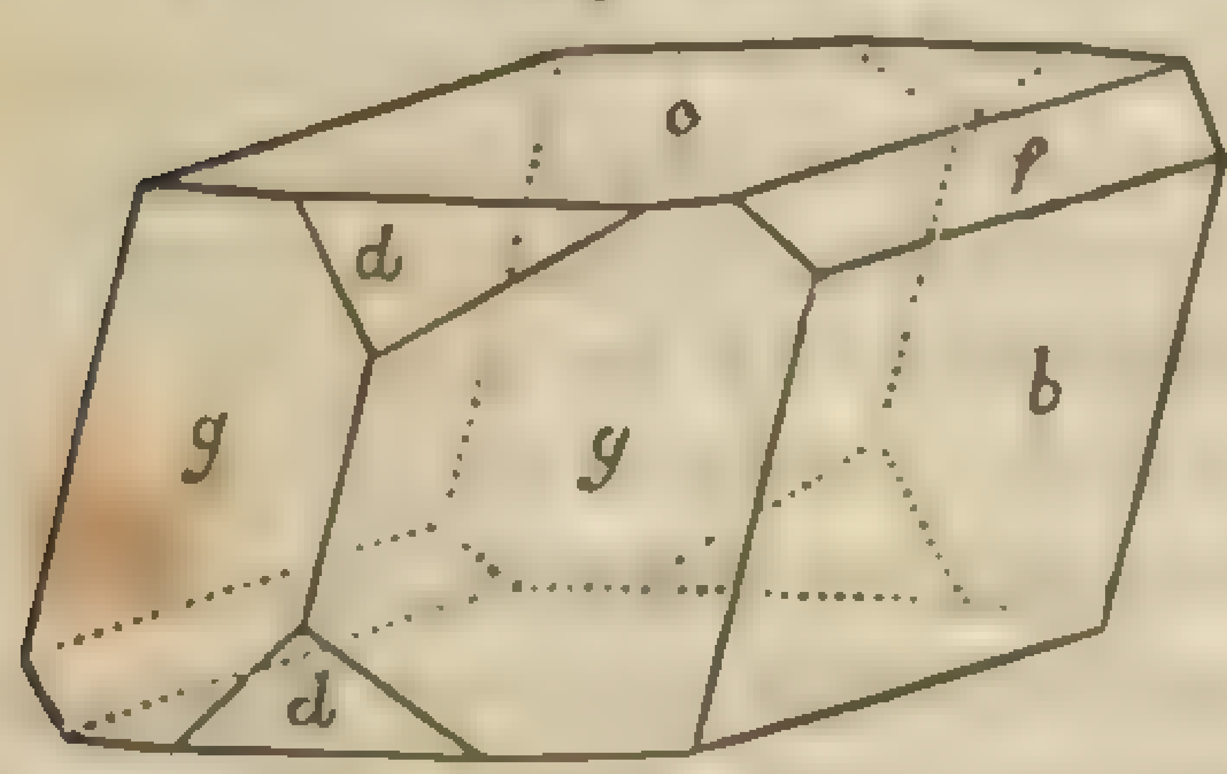
Fig. 144.



negative Elektricität; bei sinkender Temperatur hingegen ist das Ende Fig. 143 negativ, das andere aber positiv elektrisch.

Hankel (Pogg. Ann. 49. Bd. p. 493) wandte zur Bestimmung der elektrischen Polarität von Krystallen das Bohnenberger'sche Elektroskop an. Der Zucker zeigte eine elektrische Polarität, wenn seine Temperatur stieg oder abnahm, wie dies bereits Brewster beobachtet hatte. Die Krystallform des Zuckers ist die Fig. 145 dargestellte; er ist aber häufig in der Art hemiëdrisch, daß die beiden Flächen *d* an der vorderen Kante fehlen, während sie an der gegenüberstehenden hintern Kante auftreten. Hankel fand nun, daß beim Erkalten dasjenige Ende negativ elektrisch ist, an welchem die Flächen *d* fehlen, positiv hingegen die gegenüberliegende Kante, wo sie sich vorfinden. Beim Erwärmen zeigt der Krystall natürlich die entgegengesetzte Polarität.

Fig. 145.



Nach Brewster's Vorgang kann man die so eben besprochene Elektricitätserscheinung mit dem Namen Pyroelektricität bezeichnen. Rose und Rieß nennen denjenigen Pol des Krystalls, an welchem das algebraische Zeichen der Temperaturveränderung dem Zeichen der dadurch erregten Elektricität entspricht, den analog elektrischen Pol; den andern Pol nennen sie den antilog elektrischen Pol.

Beim Turmalin ist demnach das Ende, an welchem die Flächen des Hauptrhomboëders auf den Kanten des dreiseitigen Prismas aufgesetzt erscheinen, Fig. 144, der antilog elektrische Pol, während Fig. 143 den analog elektrischen Pol darstellt.

Beim Borazit fanden Rose und Rieß Köhler's Angaben bestätigt, daß die 4 Hexaëderecken, an welchen sich die glänzenden Tetraëderflächen finden, die antilogen, die 4 andern, die theils ohne, theils mit matten Tetraëderflächen vorkommen, die analogen Pole sind.

Es giebt noch manche andere Krystalle, welche ähnliche elektrische Eigenschaften haben wie der Turmalin.

Dritte Abtheilung.

Vom Galvanismus.

Erstes Kapitel.

Elektricitätsentwickelung durch Berührung heterogener Leiter.

Entdeckung des Galvanismus. Im Jahre 1786 beobachtete Ludwig Galvani, Professor der Medicin in Bologna, eine ganz eigenthümliche Erscheinung. Er hatte zum Zwecke verschiedener Untersuchungen Froschschenkel präparirt, hing sie zufällig mittelst metallener Haken an einem eisernen Balcongeländer auf und sah, daß sie lebhafte Zuckungen machten. Ein gewöhnlicher Beobachter würde sich mit einer oberflächlichen Erklärung begnügt und sich alsbald wieder mit anderen Dingen beschäftigt haben. 56

Fig. 146.



Galvani war weniger voreilig in seinem Urtheile; mit durchdringender Beobachtungsgabe und seltenem Scharfsinne ausgerüstet, erkannte er in dieser Erscheinung ein neues Princip und wurde so der Schöpfer eines der wichtigsten Zweige der Physik, welcher nach ihm den Namen Galvanismus führt.

Die Froschschenkel, an welchen Galvani seine Beobachtungen machte, waren in der Weise präparirt, wie man Fig. 146 sieht. Nachdem das eben getödtete Thier durchgeschnitten ist, wird von dem unteren Theile rasch die Haut abgezogen, und indem man die Spitze der Scheere unter die beiden Schenkelnerven bringt, welche auf jeder Seite der Wirbelsäule als weiße Fäden erscheinen, nimmt man mit zwei Schnitten die zwei oder drei untersten Rückenwirbel weg, so daß die Schenkelnerven bloß liegen und die unteren Glieder nur durch sie mit den oberen Wirbelknochen zusammenhängen. Galvani hatte den kupfernen Haken in der Wirbelsäule befestigt und beobachtete jedesmal eine Zuckung der Schenkel, so oft sie mit dem eisernen Geländer in Berührung kamen.

Diese Wirkung beobachtet man selbst noch nach einigen Stunden, allein sie nimmt meistens schnell ab, und gewöhnlich beobachtet man 20 bis 30 Minuten nach dem Tode des Thieres nur noch sehr schwache Zuckungen der Muskeln.

Man kann den galvanischen Grundversuch sehr bequem mit Hülfe der Vorrichtung Fig. 147 anstellen. Ein Stück Kupferblech *b* ist durch einen Kupferdraht *c* mit dem Zinkblech *a* verbunden. Um nun stets metallische Verbindung zu erhalten, kann man den Kupferdraht an die beiden Bleche anlöthen. — Berührt man nun mit einem dieser Bleche die Schenkel, mit dem andern die Nerven, so tritt alsbald eine Zuckung der Schenkel ein.

Indem Galvani genau die Umstände angab, unter welchen die Erscheinung erfolgt, hat er sie wohl von den unbestimmten convulsivischen Bewegungen unterschieden, welche man an Insekten, Reptilien und Fischen oft noch lange nach ihrer Verstümmelung beobachtet. Galvani, welcher sehr für die Idee eingenommen war, daß es eine besondere Nerven- oder Lebensflüssigkeit gebe, stand nicht an, von dem Phänomen eine Erklärung zu geben, welche mit seinen Lieblingstheorien übereinstimmte. Die Zuckungen der Froschschenkel, sagte er, werden durch eine Flüssigkeit hervorgebracht, welche vermittelst einer äußeren Leitung von den Nerven zu den Muskeln überströmt; diese Flüssigkeit befindet sich in den Nerven, sie geht von diesen durch den metallischen Leitungsbogen auf die Muskeln über. Diese neue Flüssigkeit wurde die galvanische Flüssigkeit genannt, und man dachte sich die organischen Körper in Beziehung auf diese Flüssigkeit ungefähr wie eine Leidner Flasche, deren Belegungen einerseits die Nerven, andererseits die Muskeln sind.

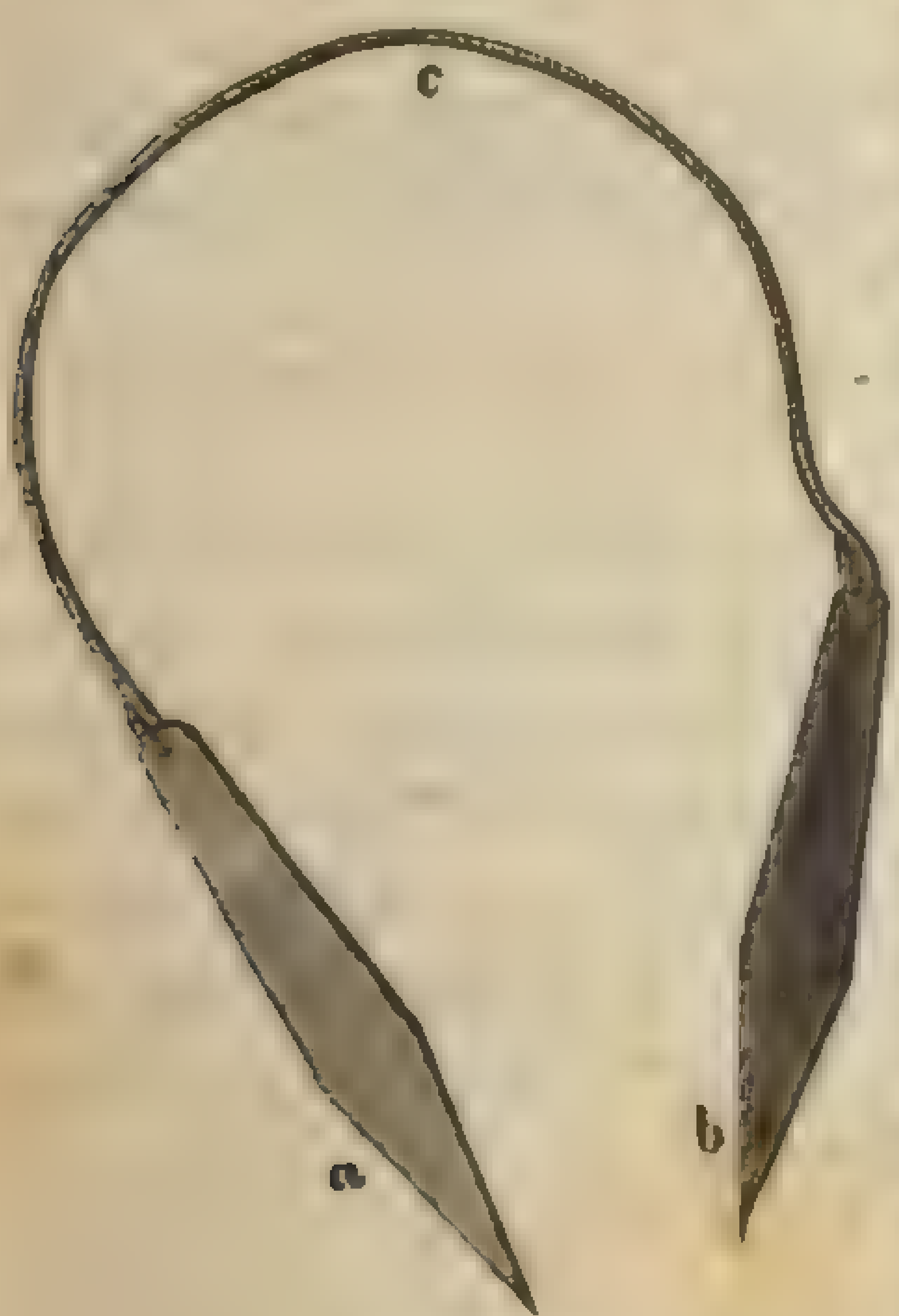
Der Lärm dieser Entdeckung verbreitete sich bald über Deutschland, Frankreich und England; überall beeilte man sich, die Versuche zu wiederholen und abzuändern; das Phänomen selbst erregte großes Erstaunen, aber die Hoffnung, in den organischen Körpern eine feine Flüssigkeit, ein Lebensprincip aufzufinden, steigerte die Neugierde der Gelehrten noch mehr. Außerdem erschienen diese Ideen gerade in einer Zeit großer Entdeckungen und Reformen, alle Geister waren in Bewegung und schienen durch den Reiz der Neuheit hingerissen.

Die ganze Richtung, in welcher man anfänglich die neue Entdeckung zu verfolgen suchte, drohte aber auf Irrwege zu führen, aus denen man vielleicht noch lange keinen Ausweg gefunden haben würde, wenn nicht bald ein Mann von kühnem Geiste diesen unnützen Versuchen ein Ende gemacht hätte. Dieser Mann war Alexander Volta, welcher durch seine Untersuchungen über das Elektrophor und den Condensator schon eine gute Schule durchgemacht hatte. Volta, Professor zu Pavia, wiederholte Galvani's Versuche mit unermüdlicher Aufmerksamkeit und fand bald, daß ein zum Gelingen des Versuchs sehr wichtiger Umstand bis dahin ganz übersehen, oder doch nicht gehörig gewürdigt worden war. Um nämlich eine starke Wirkung zu haben, ist es durchaus nöthig, daß der Leitungsbogen, welcher die Nerven und Muskeln verbindet, aus zwei verschiedenen Metallen besteht, welche mit einander in Berührung sind.

Volta schloß aus seinen Versuchen, daß der Froschschenkel nicht wie

eine Leidner Flasche zu betrachten sey; daß das hier wirkende Agens weder in den Nerven, noch in den Muskeln, sondern durch den Contact der beiden Metalle entwickelt werde und daß es mit dem gewöhnlichen elektrischen Fluidum vollkommen identisch sey. Volta's Ansichten wurden von Galvani und seinen Anhängern bekämpft, jede Partei suchte die Richtigkeit ihrer Theorie durch neue Versuche zu bekräftigen, endlich aber wurde doch Volta's Meinung allgemein als die richtige angenommen.

Fig. 147.



Directe Beweise für die Elektricitätsentwickelung durch Berührung verschiedener Metalle. 57
Die Idee, daß durch die bloße Berührung heterogener Körper Elektricität entwickelt werde, fand nur nach und nach Glauben; die Strenge der Wissenschaft verlangte directe und entscheidende Beweise, welche Volta auch bald gab. Diesen directen Beweis führte er mit Hülfe eines Apparates, den er selbst erst einige Jahre früher erfunden hatte, nämlich mit Hülfe des Condensators, den wir schon oben (Seite 116) kennen gelernt haben.

Fig. 148.



Der Versuch wird auf folgende Weise angestellt. Nachdem man sich überzeugt hat, daß der auf das Goldblattelektrometer, Fig. 148, geschraubte Condensator seine Ladung gut hält und, nachdem man ihn wieder in seinen natürlichen Zustand versetzt hat, berührt man die obere Platte ableitend mit dem Finger, während man die untere Platte mit einem Stücke Zink berührt, welches dadurch, daß man es in der andern Hand hält, auch mit dem Boden in leitender Verbindung steht. Es versteht sich von selbst, daß die Oberflächen der Condensatorplatten da, wo sie nicht mit einander in Berührung stehen, nicht gefirnißt seyn dürfen, denn sonst wäre ja kein metallischer Contact zwischen Zink und dem Messing (welches sich fast so, wie reines Kupfer verhält) der einen Condensatorplatte möglich. Zieht man nun, nachdem die Berührung nur einen Augenblick gedauert hat, den Finger von der oberen, das Zink von der unteren Platte zurück, hebt man darauf die obere Condensatorplatte ab, so erhält man eine merkliche Divergenz der Goldblättchen. Woher kommt diese Elektricität? Sie kann offenbar nur durch die Berührung des Zinks und des Kupfers entwickelt worden seyn; hier ist es, wo eine

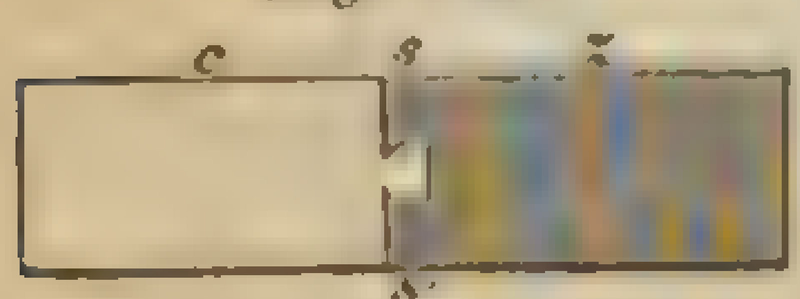
besondere Kraft wirkt, um die elektrischen Fluida zu trennen und in Bewegung zu setzen; die positive Elektricität geht auf das Zink und von da in den Boden über, die negative hingegen wird auf die untere messingene oder kupferne Condensatorplatte getrieben.

Wenn man den Versuch in der Weise wiederholt, daß man die obere Condensatorplatte mit dem Zink, die untere mit dem Finger berührt, so divergiren die Goldblättchen mit positiver Elektricität.

Einen bedeutend stärkeren Ausschlag erhält man, wenn die mit Zink berührte Condensatorplatte ringsum vergoldet oder versilbert ist.

Wendet man statt des Zinks ein Stück desselben Metalls an, aus welchem die Condensatorplatten gemacht sind, so erhält man keine Wirkung; alle anderen Metalle aber bewirken eine Divergenz der Goldblättchen. Blei, Zinn, Eisen, Wismuth und Antimon werden, in Berührung mit Kupfer (Messing), wie das Zink + elektrisch, laden also die Condensatorplatte, welche man mit ihnen berührt, mit — E; hingegen Gold, Silber, Palladium, Platin und Kohle bringen die entgegengesetzte Wirkung hervor, sie werden — elektrisch und laden die kupferne oder messingene Condensatorplatte mit + E. Diese Versuche sind entscheidend, sie geben aber von der Kraft, welche hier die Elektricität erzeugt, noch keine vollkommene Vorstellung, denn man könnte ja glauben, daß sie nur im Augenblicke der Berührung wirkte, daß die Elektricität vielleicht von einer Reibung, von einem Drucke der Metalle herrühre. Um in dieser Hinsicht alle Zweifel zu lösen, hatte **Volta** die sinnreiche Idee, eine **doppelte Platte**, Fig. 149, zu machen; die eine Hälfte ist von Zink, die andere von Kupfer, und diese beiden Metalle sind bei s s' zusammengelöthet. Nimmt man nun das Zink dieser Doppelplatte in die Hand, indem man mit dem Kupfer die untere Condensatorplatte berührt und zugleich die obere Condensatorplatte mit dem Boden in leitende Verbindung setzt, so erhält man denselben Ausschlag der Goldblättchen wie beim vorigen Versuche. An der Stelle, wo sich Zink und Kupfer berühren, ist also nach jahrelangem Contacte noch dieselbe Kraft thätig, wie im ersten Augenblicke der Berührung.

Fig. 149.



58 **Von der elektromotorischen Kraft.** Diese an den Berührungsstellen heterogener Körper wirkende Kraft führt den Namen **elektromotorische Kraft**; sie hat ihren Sitz an den Berührungsstellen und wirkt daselbst beständig zersetzend auf die noch verbundenen Elektricitäten, indem sie die + E auf den einen, die — E auf den andern Körper treibt. Wenn also die doppelte Platte, Fig. 149, isolirt ist, kann sie sich nicht im natürlichen Zustande befinden.

Wir wollen jetzt versuchen, die Natur dieser elektromagnetischen Kraft so viel als möglich kennen zu lernen.

Betrachten wir die doppelte Platte vorerst im Zustande der Isolation. Durch die an der Berührungsfläche wirkende elektromotorische Kraft wird eine be-

stimmte Quantität neutraler Elektricität zerlegt, es wird also gleichviel positive und negative Elektricität frei, die — E geht auf das Kupfer, die + E auf das Zink über. Da nun aber die elektromotorische Kraft fortwährend thätig ist, so sollte man glauben, daß bald so viel neutraler Elektricität zersetzt seyn müßte, daß sich die + E auf dem Zinke sowohl als auch die — E auf dem Kupfer im Zustande starker Spannung befände. Der Versuch zeigt uns aber, daß dem nicht so sey; die Spannung der freien Elektricität auf beiden Metallen ist so gering, daß wir ja des Condensators bedürfen, um sie merklich zu machen.

Wie läßt sich diese Thatsache nun mit der ungeschwächten Fortdauer der elektromotorischen Kraft zusammenreimen? Die elektromotorische Kraft, welche die Elektricitäten trennt, hindert auch, daß die + E auf das Kupfer und die — E auf das Zink zurückgeht, sie hindert also die Wiedervereinigung der getrennten Elektricitäten; die an der Gränzfläche thätige elektromotorische Kraft wirkt also hier gerade so wie das Glas einer Leidner Flasche oder wie die Harzschicht eines Condensators. Die auf der einen Platte eines geladenen Condensators befindliche + E zieht die — E der andern Platte an, ihre Vereinigung wird einzig und allein durch die beide Platten trennende nichtleitende Harzschicht verhindert. Wir haben aber gesehen, daß die Ladung, welche man einem Condensator ertheilen kann, ihre Gränze hat, daß bei stärkeren Ladungen die isolirende Harzschicht durchbrochen wird und also eine Entladung erfolgt. Hier nun ist es ganz ähnlich: die elektromotorische Kraft kann nur so lange die entgegengesetzten Elektricitäten der beiden Metalle getrennt erhalten, bis ihre Spannung eine gewisse Gränze erreicht hat. Nehmen wir an, eine Doppelplatte, Fig. 149, sey isolirt, die beiden Metalle seyen bis zu jener Gränze mit den ihnen zukommenden Elektricitäten geladen, und man theile dem Zink auf irgend eine Weise noch mehr + E, dem Kupfer ebensoviel — E mit, so werden diese neuen Ladungen nicht auf dem Kupfer und dem Zink getrennt bleiben, weil die an ihren Gränzflächen wirkende elektromotorische Kraft ihre Vereinigung nicht hindern kann. Es geht daraus hervor, daß die elektrische Spannung auf dem Zink und dem Kupfer trotz der fortdauernd wirkenden elektromotorischen Kraft diese Gränze nicht überschreiten kann; denn alle durch die elektromotorische Kraft von Neuem entwickelten Elektricitäten würden sich ja sogleich wieder vereinigen.

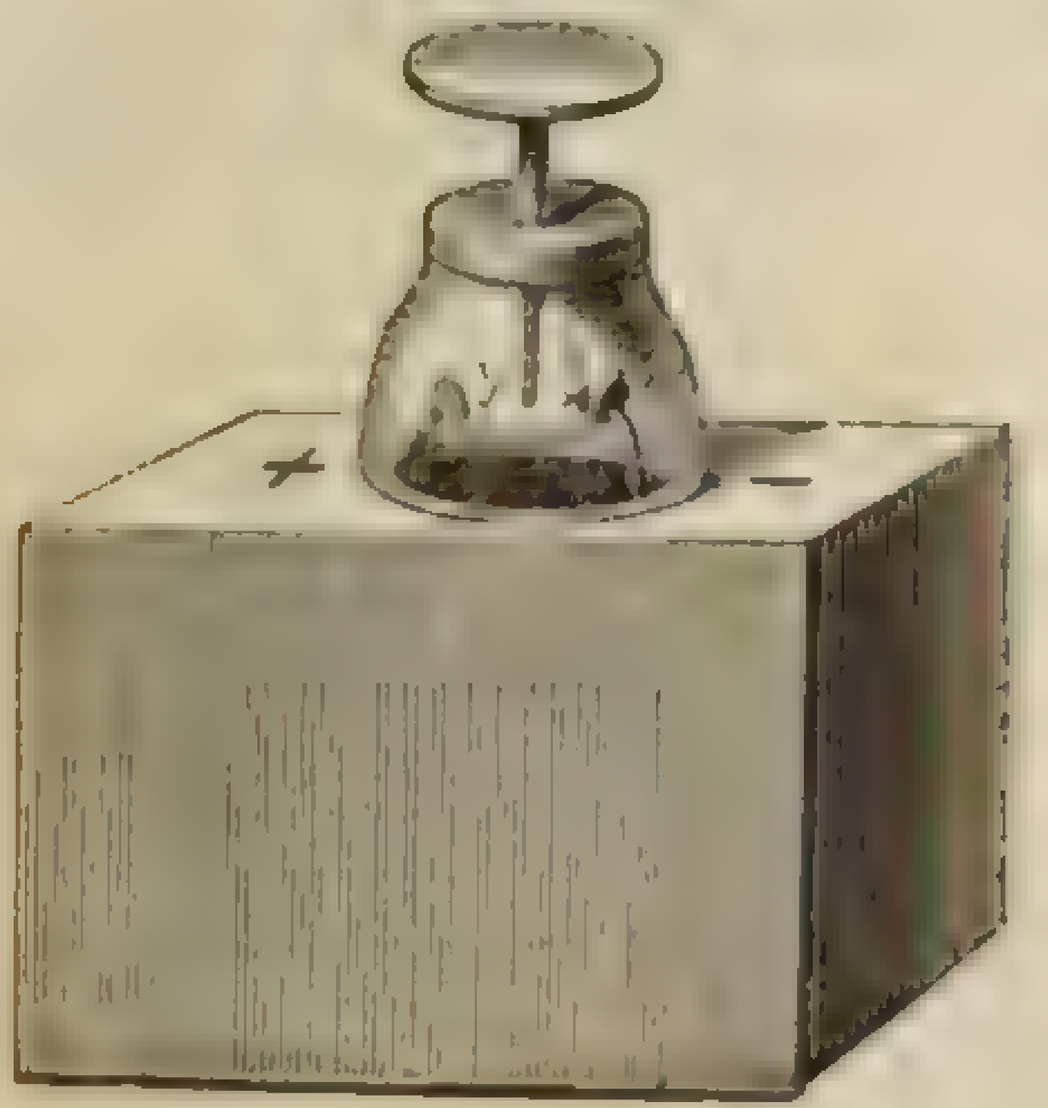
Nun ist die Frage, wie sich die Elektricität auf dem Kupfer und auf dem Zink vertheilt? Auch hierin finden wir eine vollkommene Analogie mit dem Condensator. Die größte Menge der einen Condensator oder eine Leidner Flasche ladenden Elektricität ist auf den einander zugekehrten, durch die isolirende Schicht getrennten Metallflächen verdichtet, ein ungleich geringerer Theil verbreitet sich frei über die ganze übrige Oberfläche der metallischen Belegung. Ebenso ist es hier; der größte Theil der durch den Contact entwickelten Elektricität bleibt an der Berührungsfläche beider Metalle gleichsam gebunden, während ein weit geringerer Theil sich frei über die Metalle verbreitet.

Volta stellte sich die Sache ganz anders vor, er glaubte, die elektromotori-

sche Kraft treibe die entwickelten Elektricitäten von der Berührungsfläche weg. Daß Volta's Ansicht hierin irrig sey, und daß die Sache sich so verhalte, wie so eben auseinandergesetzt wurde, hat Fechner durch vielfache Versuche dargethan, unter denen wir nur folgenden hervorheben.

Man schraube auf das verbesserte Bohnenberger'sche Elektroskop, Fig. 150, dessen genaue Beschreibung erst später, bei Gelegenheit der trockenen Säulen, gegeben werden kann, statt einer Condensatorplatte eine Kupferplatte von ungefähr 8 Centimeter Durchmesser auf.

Fig. 150.



Im Wesentlichen besteht das Bohnenberger'sche Elektroskop aus einem Goldblättchen, welches am unteren Ende eines isolirten Metallstäbchens befestigt, zwischen zwei Metallplatten x und y hängt, von denen die eine stets positiv, die andere stets negativ elektrisch ist, so daß das Goldblättchen nach der einen oder der anderen Seite ausschlagen muß, wenn ihm nur eine geringe negative oder positive Ladung ertheilt wird. Setzt man nun auf die erwähnte Kupferplatte eine gleich große Zinkplatte (es ist wesentlich, daß die beiden sich berührenden Flächen vollkommen metallisch und eben sind), so wird durch die Berührung der beiden Metalle Elektricität entwickelt; allein die über die Kupferplatte und das mit ihr leitend verbundene Goldblättchen sich frei verbreitende — E ist von so geringer Spannung, daß sie keinen Ausschlag des Goldblättchens bewirken kann; dieser Ausschlag erfolgt aber sogleich, wenn man die Zinkplatte abhebt. Für das Gelingen des Versuchs ist es unerläßlich nöthig, daß die Zinkplatte vollkommen parallel mit der Kupferplatte abgehoben werde, so daß nicht einige Punkte der Zinkplatte länger mit dem Kupfer in Berührung bleiben als andere.

Dieser Versuch, welcher zugleich der einfachste und sicherste Beweis für die Elektricitätserregung beim Metallcontacte ist, ohne daß dabei ein Condensator in's Spiel käme, beweis't, daß in der That der größte Theil der durch die elektromotorische Kraft entwickelten Elektricität an der Berührungsfläche gebunden bleibt, weil sie erst durch das Abheben der Zinkplatte frei wird.

Wenn man die Zinkplatte gehörig parallel abhebt, so erhält man einen Ausschlag, welcher zeigt, daß das Kupfer, in Berührung mit Zink, — elektrisch geworden ist. Dieser Ausschlag erfolgt mit gleicher Stärke, man mag die Zinkplatte isolirt oder nicht isolirt abheben.

Dies zeigt die Richtigkeit der Behauptung, daß der größte Theil der durch die elektromotorische Kraft entwickelten Elektricität an der Berührungsstelle gebunden bleibt, so lange die Berührung dauert, und daß nur ein verhältnißmäßig sehr unbedeutender Theil sich frei über die beiden Metalle verbreitet. Die

Quantität der gebundenen Elektricität ist der Größe der Berührungsfläche proportional, dagegen ist die Spannung, welche der sich frei verbreitende Antheil der Elektricität erreichen kann, von der Größe der Berührungsfläche unabhängig. Bei dem oben (Seite 130) beschriebenen Volta'schen Fundamentalversuche ist es deshalb auch ganz gleichgültig, ob die untere Condensatorplatte an vielen oder an wenigen Punkten mit dem Zinke in Berührung ist.

Nach diesen Betrachtungen sind wir nun auch im Stande, den Hergang des so eben wieder erwähnten Volta'schen Fundamentalversuchs deutlicher einzusehen. Denken wir uns, man habe die obere Condensatorplatte noch nicht aufgesetzt, die untere aber mit dem Zink berührt, so wird sich etwas — E auf der Messingplatte verbreiten, deren Spannung jedoch so gering ist, daß sie keine Divergenz der Goldblättchen bewirken kann. Bezeichnen wir die Dichtigkeit der freien Elektricität, welche sich unter diesen Umständen auf der Messingplatte verbreitet, mit d. Nun werde die obere Condensatorplatte aufgesetzt und ableitend mit dem Finger berührt, so wird die freie E der unteren Condensatorplatte nach der Harzschicht strömen, an welcher sie gebunden wird; in dem Maaße aber, in welchem die freie Elektricität der unteren Messingplatte durch diese Condensation weggenommen wird, wird auch durch die fortwährend thätige elektromotorische Kraft an der Berührungsstelle des Zinks dieser Verlust ersetzt, bis die auf der unteren Condensatorplatte frei verbreitete Elektricität wieder die Dichtigkeit d, und also die an die Harzschicht gebundene Elektricität die Dichtigkeit nd hat (Seite 103). Eine nur einen Augenblick dauernde Berührung der unteren Condensatorplatte mit dem Zink reicht schon hin, den Condensator vollständig zu laden.

Wenn eine isolirte Kupferplatte mit einer gleich großen, ebenfalls isolirten Zinkplatte in Berührung gebracht wird, so ist die Quantität der auf die Zinkplatte übergehenden $+ E$ genau so groß, wie die Menge der auf das Kupfer übergehenden $- E$. Gerade deshalb aber kann die Elektricität auf dem einen Metalle die auf dem andern befindliche nicht vollständig binden, auf jedem Metalle muß also eine, wenn auch geringe Menge Elektricität frei seyn, gerade wie bei einer Franklin'schen Tafel auf jeder Seite etwas Elektricität frei ist, wenn auf der einen Belegung sich gerade so viel $- E$ befindet als $+ E$ auf der andern. Damit die Elektricität auf der einen Belegung vollständig gebunden sey, muß sich auf der andern Seite ein Ueberschuß der entgegengesetzten Elektricität befinden. Bei den sich berührenden heterogenen Metallplatten findet ein ganz analoges Verhältniß Statt. Wenn man eine der isolirten Metallplatten, etwa die Zinkplatte, ableitend mit dem Finger berührt, während die Kupferplatte isolirt bleibt, so wird die freie $+ E$ der Zinkplatte abgeleitet; durch diese Ableitung wird aber auf der Kupferplatte wieder eine Quantität $- E$ frei, die Spannung der freien $- E$ auf der Kupferplatte nimmt also zu, wenn die Zinkplatte ableitend berührt wird.

Hätte man bei Anstellung des Volta'schen Fundamentalversuchs (S. 132) die untere Condensatorplatte mit einem isolirten Stücke Zink berührt, so würde

demnach der Effect ungleich geringer ausgefallen seyn, als wenn das Zinkstück nicht isolirt gewesen wäre.

Bezeichnen wir mit + *e* die Dichtigkeit der freien Elektricität, welche sich auf einer isolirten Zinkplatte verbreitet, wenn man sie mit einer gleich großen, ebenfalls isolirten, Kupferplatte berührt, so ist — *e* die Dichtigkeit der entgegengesetzten Elektricität, welche sich über das Kupfer frei verbreitet. Wenn man eine Platte, etwa die Zinkplatte, ableitend berührt, so kann man alle freie Elektricität ableiten, die Dichtigkeit der auf der berührten Platte zurückbleibenden freien Elektricität ist also Null. Auf der Kupferplatte muß aber dadurch von Neuem gerade so viel negative Elektricität frei werden, als man positive Elektricität von dem Zink ableitete; die Dichtigkeit der freien Elektricität auf der Kupferplatte wird also — 2 *e*. Man kann allgemein sagen: Wenn eine der beiden sich berührenden Metallplatten isolirt ist, die andere aber nicht, so ist die Dichtigkeit der freien Elektricität auf der isolirten Platte doppelt so groß, als sie seyn würde, wenn auch die andere Platte isolirt geblieben wäre.

Mögen nun die beiden sich berührenden heterogenen Platten isolirt seyn oder nur eine derselben, so bleibt doch die Differenz der elektrischen Spannungen auf beiden dieselbe. Wenn die eine Platte ableitend berührt ist, so ist die Spannung auf ihr 0, auf der andern 2 *e*, die Differenz dieser beiden Spannungen ist also auch 2 *e*. Wenn beide isolirt sind, so ist die Tension auf der einen + *e*, auf der andern — *e*, und die Differenz dieser beiden Tensionen ist abermals 2 *e*. Ja selbst, wenn man von irgend einer andern Elektricitätsquelle her Elektricität auf das Plattenpaar leitet, bleibt diese Differenz unverändert dieselbe, indem sie die neu zugeführte Elektricität frei über das ganze System verbreitet. Gesetzt, man leite auf das Plattenpaar so viel positive Elektricität, daß sie, frei über dasselbe verbreitet, eine Dichtigkeit 10 *e* habe, so wird sich diese Elektricität mit der schon durch die elektromotorische Kraft auf beiden Platten erzeugten vereinigen. Die Dichtigkeit der freien positiven Elektricität, welche durch die elektromotorische Kraft auf der Zinkplatte verbreitet wird, ist *e*, was mit jenen zugeleiteten 10 *e* zusammen + 11 *e* macht. Auf der Kupferplatte ist aber durch die Wirkung der elektromotorischen Kraft negative Elektricität von der Dichtigkeit — *e* verbreitet; diese negative Elektricität neutralisirt eine gleiche Quantität der zugeleiteten positiven Elektricität; von den zugeleiteten + 10 *e* bleiben also + 9 *e* übrig. Die Tension auf der Zinkplatte ist also + 11 *e*, auf der Kupferplatte + 9 *e*, also die Differenz + 2 *e*. Dasselbe Resultat stellt sich heraus, welches auch die Natur und die Quantität der dem Plattenpaare zugeleiteten Elektricität seyn mag. Die elektrische Differenz beider Platten bleibt unverändert.

59 **Die Spannungsreihe.** Die elektrischen Spannungen, welche durch die elektromotorische Kraft entwickelt und auf die sich berührenden Körper verbreitet werden, sind nicht für alle Stoffe gleich. Die Metalle sind gute Elektromotoren, man beobachtet jedoch in dieser Hinsicht einen großen Unterschied unter denselben. So wird z. B. Zink, in Berührung mit Platin, stärker positiv elektrisch als in Berührung mit Kupfer; das Kupfer wird, in Berührung

mit Zink, negativ, in Berührung mit Platin, positiv elektrisch. Die folgende Tabelle enthält eine Reihe von Körpern, so geordnet, daß jeder der vorangehenden, in Berührung mit allen folgenden, positiv elektrisch wird.

+
Zink
Blei
Zinn
Eisen
Kupfer
Silber
Gold
Platin
Kohle.
—

Wir wollen mit

ZB	die	elektrische	Differenz	zwischen	Zink	und	Blei
ZK	»	»	»	»	Zink	»	Kupfer
ZP	»	»	»	»	Zink	»	Platin
BK	»	»	»	»	Blei	»	Kupfer
BP	»	»	»	»	Blei	»	Platin
KP	»	»	»	»	Kupfer	und	Platin

bezeichnen.

Man schraube auf das Goldblattelektrometer, Fig. 148, eine Condensatorplatte von Kupfer, setze auf dieselbe eine Condensatorplatte von Zink und verbinde die beiden Platten durch einen Kupferdraht in der Weise, wie man Fig. 151 sieht. Durch die Berührung des Kupferdrahtes mit der (oben nicht lackirten) Zinkplatte wird Elektricität entwickelt, die auf dem Zink sich verbreitende freie + *E* wird an der die beiden Platten trennenden Harzschicht condensirt, während die — *E* durch den Kupferdraht auf die Kupferplatte übergeht und dort condensirt wird. Nach einer nur ganz kurzen Berührung wird sich der Condensator geladen haben; man nimmt nun den Kupferdraht weg und hebt die Zinkplatte ab, so werden die Goldblättchen divergiren, und zwar ist ihre Divergenz offenbar der elektrischen Differenz *ZK* zwischen Zink und Kupfer proportional.

Fig. 151.



Nun nehme man statt des verbindenden Kupferdrahtes einen Bleidraht. Wenn nur zwischen Zink und Blei eine elektromotorische Kraft thätig wäre, nicht aber zwischen Blei und Kupfer, so würde die Kupferplatte eine Ladung annehmen, welche der elektrischen Differenz *ZB* zwischen Zink und Blei proportional ist. Außer der — *E* aber, welche von dem Blei auf die Kupferplatte übergeht, erhält dieselbe aber auch noch eine fernere Ladung, welche von der zwischen Blei und Kupfer thätigen elektromotorischen Kraft abhängt, durch welche das Kupfer ebenfalls negativ erregt wird, die Ladung der Kupferplatte

muß also der Summe $ZB + BK$ proportional seyn. Wenn man aber nun den Bleidraht entfernt und die obere Condensatorplatte abhebt, ist die Divergenz der Blättchen gerade eben so groß als beim ersten Versuch, mithin ist

$$ZB + BK = ZK,$$

d. h. die elektrische Differenz zwischen Zink und Kupfer ist gleich der Summe der elektrischen Differenzen zwischen Zink und Blei, Blei und Kupfer.

Hätte man statt des Bleidrahtes einen Platindraht angewendet, so würde die Kupferplatte eine negative Ladung ZP angenommen haben, wenn nur an der Berührungsstelle zwischen Zink und Platin eine elektromotorische Kraft thätig wäre. Durch Platin wird das Kupfer positiv erregt, die Ladung der Kupferplatte kann offenbar nur $ZP - KP$ seyn. Aber auch hier erhält man wieder denselben Ausschlag, als ob der Verbindungsdraht von Kupfer gewesen wäre, mithin ist

$$ZP - KP = ZK$$

und daraus

$$ZK + KP = ZP.$$

Die elektrische Differenz zwischen Zink und Platin ist die Summe der elektrischen Differenzen zwischen Zink und Kupfer, Kupfer und Platin.

Von welchem Metall man auch den Verbindungsbogen der beiden Platten nehmen mag, man erhält stets dieselbe Ladung des Condensators, und daraus folgt, daß die elektrische Differenz je zwei beliebiger Glieder in der Spannungsreihe gleich ist der Summe der elektrischen Differenzen der Zwischenglieder.

Aus unseren Versuchen folgt auch ferner, daß, **wenn man drei Metalle auf einander schichtet, die elektrische Spannung der Endplatten stets dieselbe ist, als ob sich diese Endplatten unmittelbar berührten und alle Zwischenplatten fehlten.** Wenn also bei dem letzten Versuch die beiden Endplatten aus demselben Metalle bestehen, so wird ihre elektrische Ladung Null seyn; wenn die beiden Condensatorplatten aus demselben Metalle gemacht sind, so erhält man keine Divergenz, welches Metall man auch zum Verbindungsbogen anwenden mag.

Auch wenn man vier, fünf oder noch mehr verschiedene Metalle in beliebiger Ordnung auf einander folgen läßt, ist die Spannung der freien Elektricität auf den Endgliedern stets dieselbe, als ob sie unmittelbar in Berührung mit einander wären.

Alle Metalle nehmen eine bestimmte Stellung in der Spannungsreihe ein; die Kohle verhält sich in dieser Hinsicht ganz wie ein Metall, sie ist noch mehr elektronegativ als Platin. Auch viele zusammengesetzte Körper nehmen eine bestimmte Stellung in der Spannungsreihe ein, z. B. Braunstein, Eisenoxyd, Schwefeleisen, Schwefelblei u. s. w.; andere zusammengesetzte Körper aber, namentlich Flüssigkeiten, gehorchen den Gesetzen der Spannungsreihe durchaus nicht.

So wird z. B. Zink, in Berührung mit reinem Wasser, negativ elektrisch. Wenn nun das Wasser in die Spannungsreihe eingeschaltet werden sollte, so müßte man es nach seinem Verhalten gegen Zink noch über dieses Metall se-

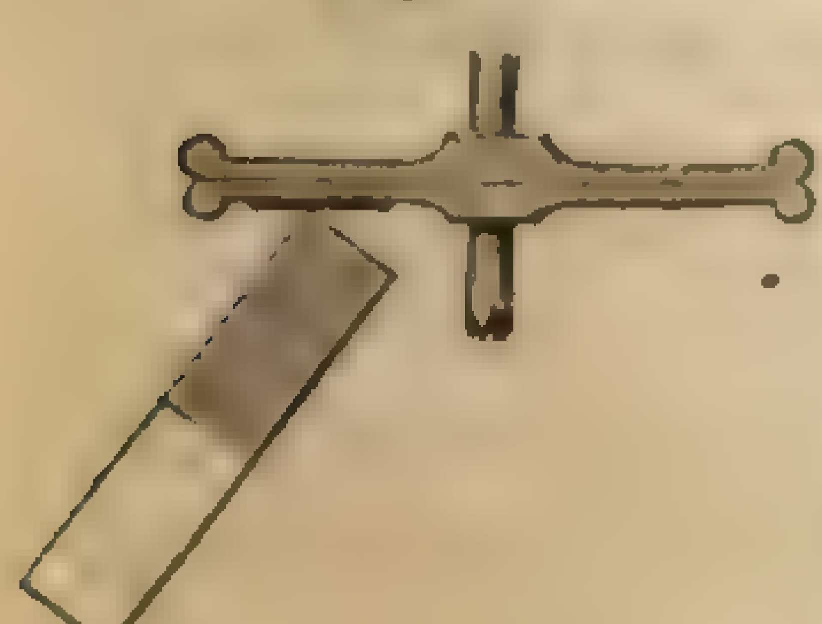
ßen. Nähme das Wasser wirklich diese Stelle in der Spannungsreihe ein, so müßte Platin, in Berührung mit Wasser, bei weitem stärker negativ erregt werden als Zink. Die Erfahrung zeigt aber das Gegentheil; das Platin wird, in Berührung mit Wasser, weit weniger negativ als Zink; man sieht also, daß das Wasser ein Körper ist, welcher den Gesetzen der Spannungsreihe nicht gehorcht. Ein ähnliches Verhalten zeigt die verdünnte Schwefelsäure, sie erregt Zink und Kupfer negativ, allein diese negative Erregung ist beim Zink stärker als beim Kupfer; Platin und Gold werden durch verdünnte Schwefelsäure positiv erregt.

Dieses eigenthümliche Verhalten der Flüssigkeiten erklärt die folgende Erscheinung. Man halte an die untere Condensatorplatte, welche aus Kupfer bestehen mag, das Zinkkupferelement, Fig. 152, jedoch nicht in der Weise, wie auf Seite 133 gesagt wurde, sondern man nehme das Kupfer in die Hand und berühre mit dem Zink die Condensatorplatte, während natürlich die obere Condensatorplatte ableitend berührt wird; man wird keine Ladung des Condensators erhalten. Der Grund ist leicht einzusehen. Die untere Condensatorplatte ist die oberste Platte eines aus drei Stücken bestehenden metallischen Systems; zu unterst ist das Kupfer, welches man in der Hand hält, dann folgt Zink, darauf wieder Kupfer. Der Effect ist derselbe, als ob sich die beiden Endglieder, also Kupfer und Kupfer, unmittelbar berührten, er ist also gleich Null. Nun schiebe man zwischen das Zink und die untere Condensatorplatte ein mit reinem Wasser befeuchtetes Stückchen Papier ein, Fig. 153, so wird der Condensator mit positiver Elektricität geladen werden. Wir haben hier ein System von vier Körpern, von Kupfer, Zink, feuchtem Papier, Kupfer. Da die beiden Endglieder gleichartig sind, so wäre eine Ladung des Condensators durchaus unmöglich, wenn alle Zwischenglieder solche Körper wären, welche eine Stellung in der Spannungsreihe einnehmen; die beobachtete Ladung des Condensators beweis't also schon, daß das feuchte Papier nicht in die Spannungsröhre paßt. Der Hergang ist hier folgender. Das untere Kupferstück ist mit dem Boden in leitender Verbindung, es befindet sich deshalb im natürlichen Zustande, während das daran gelöthete Zink eine positive Ladung erhält. Die positive Ladung des Zinks geht auf die feuchte Scheibe über, wird aber noch durch die positive Erregung des Wassers durch Zink vermehrt. Die verstärkte positive Ladung der feuchten Scheibe geht aber fast vollständig auch auf die untere Condensatorplatte über, weil ja das Kupfer durch Wasser nur sehr schwach negativ erregt wird.

Fig. 152.



Fig. 153.



Die elektrische Erregung zwischen Metallen und Flüssigkeiten ist bisher häufig übersehen worden. Besonders gründlich haben Pfaff und Buff diesen Gegenstand untersucht.

Das Verfahren, welches Buff anwandte, um das elektrische Verhalten irgend

eines Metalls gegen die zu untersuchende Flüssigkeit frei von allen anderen Einflüssen zu erhalten, war folgendes.

Auf einem sehr empfindlichen Fechner'schen Säulenelektroskop, Fig. 150, wurde eine Scheibe von dem zu prüfenden Metalle als untere Condensatorplatte befestigt. Auf die gefirnißte Oberfläche derselben wurde dann eine möglichst dünne, geschliffene Glasplatte gelegt, deren aufliegende (untere) Fläche gleichfalls gefirnißt war. Auf der Oberfläche des Glases endlich wurde die zu prüfende Flüssigkeit ausgebreitet, indem man gewöhnlich, und zwar ganz unbeschadet der Wirkung, ein mit der Flüssigkeit getränktes Löschpapier oben auflegte. Die feuchte Schicht auf der Glasscheibe bildete auf diese Weise die obere Condensatorplatte. Buff verband nun die Flüssigkeit mit der unteren Condensatorplatte durch einen geeigneten Metallstreifen und entfernte dann die Glasscheibe.

Die Glasscheibe war $1/4$ Linie dick und hatte einen etwas größeren Durchmesser als die Condensatorplatte, um sie leicht abheben zu können. Die auf diese Weise erhaltenen Ladungen sind zwar in der Regel schwach, da wegen der Dicke der Glasscheibe der Condensator weniger wirksam ist, sie gaben jedoch in qualitativer Hinsicht vollkommen entscheidende Resultate.

Ist die Condensatorplatte von Zink, die Flüssigkeit reines Wasser, der Verbindungsdraht ebenfalls Zink, so wird der Condensator negativ geladen.

Wenn die untere Condensatorplatte und der Verbindungsdraht Platin sind und auf der Glasplatte ebenfalls reines Wasser ausgebreitet ist, so erhält das Platin ebenfalls eine negative Ladung, aber schwächer als die des Zinks durch Wasser.

Um die Wirkung von Wasser auf Platin mit der von Zink auf Platin zu vergleichen, wurde auf die Glasplatte statt des Wassers eine Zinkplatte aufgesetzt und die Verbindung des Zinks mit dem Platin durch einen Platinstreifen bewerkstelligt. Der Ausschlag war weit stärker. Platin wird also durch Zink weit stärker negativ erregt als durch Wasser.

Vergleicht man aber den Ausschlag, den unter diesen Umständen Zink und Platin giebt, mit dem, welchen Zink und Wasser geben, so findet man, daß der letztere bedeutender ist. Hieraus folgt, daß die absolute Größe der negativen Erregung des Zinks durch Wasser bedeutender ist als die Größe seiner positiven Erregung durch Platin.

Zink, mit reinem Wasser durch einen Platin- oder Kupferdraht in leitende Verbindung gesetzt, wurde positiv geladen, die positive Erregung des Zinks durch diese Metalle ist also größer, als die negative Erregung derselben durch Wasser.

Verdünnte Schwefelsäure erregt Zink, Eisen, Kupfer in abnehmenden Graden negativ, Gold und Platin aber positiv. Aehnlich verhält sich verdünnte Salpetersäure.

Von concentrirter Salpetersäure wurden Platin, Gold, Kupfer, Eisen positiv erregt, nur das Zink, obgleich heftig angegriffen, zeigte eine kaum merklich negative Ladung.

Construction der Volta'schen Säule. Zum Aufbau der Volta'schen 60
Säulen werden drei verschiedene Körper angewandet; zwei Metalle und ein dritter Körper, welcher keine Stelle in der Spannungsreihe einnimmt.

Die Metalle, welche man in der Regel anwendet, sind Kupfer und Zink, zwei Körper, welche in der Spannungsreihe sehr weit von einander abstehen. Zink bildet das positive, Kupfer das negative Element. Gewöhnlich ist eine Kupferplatte und eine Zinkplatte zusammengelöthet.

Das dritte Element der Volta'schen Säule ist eine feuchte Scheibe, d. h. eine Scheibe von Tuch oder Pappe, welche mit einer sehr verdünnten Säure oder einer Kochsalzlösung getränkt ist.

Eine Kupferplatte, also ein negatives Element, sey durch einen Kupferdraht *f*, Fig. 154, mit dem Boden in leitende Verbindung gebracht und auf ihre

Fig. 154.



obere Fläche eine gleich große Zinkplatte gelegt. Durch die elektromotorische Kraft wird das Zink positiv, das Kupfer negativ erregt, die freie Elektricität der Kupferplatte strömt aber in den Boden über, während auf der Zinkplatte freie Elektricität von einer Dichtigkeit bleibt, welche von der elektrischen Differenz zwischen Kupfer und Zink abhängt. Nehmen wir diese Dichtigkeit als Einheit an, so können wir sagen, daß unter diesen Umständen die Dichtigkeit der freien Elektricität auf dem Kupfer 0 sey, während sich über das Zink freie $+E$ von der Dichtigkeit 1 verbreitet. Wenn man durch irgend ein Mittel dem Zink einen Theil seiner freien E entzöge, so daß ihre Dichtigkeit geringer als 1 würde, so würde dieser Verlust, welchen die Zinkplatte an $+E$ erleidet, durch die elektromotorische Kraft sogleich wieder ersetzt werden, während eine der neu entwickelten und auf die Zinkplatte übergehenden $+E$ vollkommen gleiche Menge $-E$ auf die Kupferplatte und von dieser auf den Boden übergeht.

Man lege nun eine feuchte Scheibe auf das Zink. Nehmen wir der Einfachheit wegen an, sie äußere, in Berührung mit Zink, gar keine elektromotorische Kraft und verhalte sich nur als Leiter, so geht ein Theil der freien $+E$ vom Zink auf die feuchte Scheibe über, der Verlust wird aber alsbald wieder ersetzt, so daß die Dichtigkeit der freien $+E$ auf dem Zink 1 bleibt, und auch auf der feuchten Scheibe sich freie $+E$ von der Dichtigkeit 1 verbreitet. Wird nun auf die feuchte Scheibe wieder eine Kupferplatte gelegt, so wird sich auch auf dieser die $+E$ verbreiten, und zwar wird sie auch hier sogleich die Dichtigkeit 1 erreichen. Auf der untersten Kupferplatte hat man also nun die Dichtigkeit Null auf der Zinkplatte, der feuchten Scheibe von der oberen Kupferplatte $+E$ von der Dichtigkeit 1.

Legt man auch auf die obere Kupferplatte eine Zinkplatte, so würde auch diese mit freier $+E$ von der Dichtigkeit 1 geladen werden, selbst wenn keine elektromotorische Kraft hier thätig wäre; nun aber bleibt die elektrische Differenz zwischen Kupfer und Zink stets dieselbe, sie ist nach unserer bisherigen Bezeichnung stets gleich 1, wenn also schon die obere Kupferplatte $+E$ von der

Dichtigkeit 1 hat, so muß die $+E$ der darauf gelegten Zinkplatte die Dichtigkeit 2 haben.

Auf dieselbe Art kann man weiter schließen. Legt man auf das zweite Zinkkupferpaar abermals eine feuchte Scheibe und darauf wieder eine Kupfer- und eine Zinkplatte in derselben Ordnung, so daß das Kupfer unten, das Zink oben hin kommt, so wird auf dieser dritten Zinkplatte die Dichtigkeit der freien $+E = 3$ seyn. Baut man in derselben Ordnung fort, d. h. läßt man von unten nach oben fortbauend die Elemente stets in der Ordnung: Kupfer, Zink, feuchte Scheibe folgen, so wird auf der 4ten, 5ten... 100sten Zinkscheibe sich freie $+E$ von der Dichtigkeit 4, 5... 100 finden.

Fig. 155.



Das eben beschriebene Arrangement führt nach seinem Erfinder den Namen der Volta'schen Säule. Fig. 155 stellt eine Volta'sche Säule von 20 Plattenpaaren dar. Das Fußgestell ist von trockenem Holze, die Stäbe auf der Seite, welche die Säule halten, sind von Glas.

Das eine Ende der Säule, welches mit einer Zinkplatte endigt, heißt das Zinkende oder der positive Pol, das andere Ende hingegen das Kupferende oder der negative Pol. In dem eben beschriebenen Arrangement war der negative Pol mit dem Boden in leitender Verbindung, der positive Pol war isolirt, und auf der ganzen Säule war $+E$ verbreitet, deren Dichtigkeit nach unserer Betrachtung von unten nach oben zunehmen muß. Wenn der negative Pol isolirt, und der positive Pol mit dem Boden in leitende Verbindung gesetzt wird, so ist die Dichtigkeit der freien Elektricität an dem Zinkende Null, während sich über die ganze Säule freie $-E$ verbreitet, deren Dichtigkeit nach dem Kupferende hin zunimmt.

Fig. 156.



Daß in einer Säule, deren einer Pol isolirt ist, während das andere Ende ableitend berührt wird, wirklich die erwähnte Vertheilung der Elektricität stattfindet, davon kann man sich leicht mit Hülfe des Elektrometers, Fig. 156, überzeugen. Wir haben gesehen (S. 133), daß, wenn man die untere Condensatorplatte des Elektrometers mit dem Kupfer eines zusammengelötheten Zinkkupferpaares berührt, während das Zink mit dem Boden in leitender Verbindung ist, dem Condensator eine Ladung ertheilt werden kann, welche der elektrischen Differenz zwischen Zink und Kupfer proportional ist, also von der Dichtigkeit

1 der freien Elektricität abhängt, welche sich über das Kupfer verbreitet, wenn es mit Zink in Berührung ist, welches selbst wieder mit dem Boden in leitender Verbindung steht. Legt man aber auf die Hand eine Zinkscheibe, auf welche eine gleich große Kupferscheibe aufgelöthet ist, auf die Kupferplatte eine feuchte Scheibe und auf diese wieder ein Zinkkupferpaar, und zwar Zink unten, Kupfer oben hin, so muß nach unseren Betrachtungen auf der oberen Kupferplatte freie — E von der Dichtigkeit 2 sich befinden, vorausgesetzt, daß die Flüssigkeit weder auf Kupfer noch auf Zink eine elektromotorische Kraft ausübt. Berührt man also die untere Condensatorplatte des Elektrometers mit der oberen Kupferplatte, die obere Condensatorplatte aber ableitend mit dem Finger, so erhält nun der Condensator eine doppelt so starke Ladung als vorher, da man nur ein Plattenpaar angewendet hatte, und in der That erhält man jetzt einen weit stärkeren Ausschlag. Ja, der Ausschlag ist mehr als doppelt so groß, weil sich, wie wir in Nro. 59 gesehen haben, die elektromotorische Wirkung der feuchten Scheibe mit der der Metalle summirt und also zur Verstärkung der Ladung an den Polen der Volta'schen Säule bedeutend mitwirkt. Macht man den Versuch mit einer Säule von drei Zinkkupferpaaren, so wird der Ausschlag abermals bedeutender. Wenn das Goldplattelektrometer empfindlich und der Condensator in gutem Stande ist, so ist der Ausschlag der Blättchen bei Anwendung von zwei und drei Plattenpaaren schon so bedeutend, daß man bei vier Plattenpaaren ein Zerreißen der Goldblättchen zu befürchten hat. Will man aber zeigen, wie auch weiter noch mit wachsender Plattenzahl die elektrische Spannung an dem einen Pol zunimmt, so hat man nur ein weniger empfindliches Elektroskop anzuwenden. Man wiederhole den Versuch ganz auf die so eben beschriebene Weise mit Anwendung von 5, 10, 15, 20 u. s. w. Plattenpaaren, so wird man beobachten, wie der Ausschlag mit wachsender Plattenzahl immer mehr zunimmt.

In der eben beschriebenen Versuchsweise war der positive Pol mit dem Boden in leitender Verbindung, und die negative Elektricität des Kupferpols wurde auf der unteren Condensatorplatte verdichtet, das Elektrometer wurde also mit — E geladen. Es ist nun leicht, die Anordnung so umzukehren, daß die + E condensirt wird. Zu diesem Zwecke baue man nur die Säule in umgekehrter Ordnung auf; man lege das unterste Plattenpaar so auf die Hand, daß das Zink nach oben gekehrt ist, und baue in dieser Ordnung weiter. Damit der Contact der obersten Zinkplatte mit der Condensatorplatte den Effect nicht modificire, muß in diesem Falle die untere Condensatorplatte entweder selbst von Zink seyn, oder, wenn sie von Messing ist, muß man auf die oberste Zinkplatte noch eine feuchte Scheibe legen und mit dieser die untere Condensatorplatte berühren.

Nehmen wir an, man habe eine Säule von 100 Paaren aufgebaut und den negativen Pol mit dem Boden in leitende Verbindung gesetzt, daneben eine zweite, der ersten ganz gleiche, deren positiver Pol ableitend berührt ist. Nun setze man die beiden Säulen zu einer einzigen zusammen, so aber, daß mit Einschaltung einer feuchten Scheibe die beiden ableitend berührten Pole (also

der + Pol der einen und der — Pol der andern) an einander stoßen, so hat man eine einzige Säule von 200 Paaren, deren Hälften sich noch ganz in dem Zustande befinden wie vorher: die Mitte befindet sich also im natürlichen Zustande, selbst wenn man die leitende Verbindung mit dem Boden aufgehoben hat. Die eine Hälfte ist positiv, die andere negativ geladen, und zwar wächst die Stärke der Ladung von der Mitte nach den Polen hin. Die elektrische Spannung an jedem Pole ist gerade so groß, wie am isolirten Pol einer Säule von 100 Paaren, deren anderer Pol ableitend berührt ist. Stört man dieses Gleichgewicht, indem man von dem einen Pol etwas Elektricität wegnimmt, so wird hier die Spannung vermindert, am andern Pol vermehrt, und der Punkt der Säule, welcher sich im natürlichen Zustande befindet, wird von der Mitte mehr nach dem Pol hingerückt, welchem man Elektricität entzogen hatte. Wenn aber die ganze Säule isolirt bleibt, so stellt sich nach und nach der frühere Zustand wieder her, d. h. der Gleichgewichtspunkt rückt allmälig wieder in die Mitte, weil an dem stärker geladenen Pol fortwährend auch ein größerer elektrischer Verlust stattfindet. In jeder ganz isolirten Säule stellt sich also von selbst das elektrische Gleichgewicht in der Weise her, daß die Mitte im natürlichen Zustande ist und die beiden Hälften mit den entgegengesetzten Elektricitäten geladen sind, deren Dichtigkeit nach den Polen hin von einem Plattenpaar zum andern wächst.

Mit wachsender Zahl der Plattenpaare nimmt die Spannung an den Polen der Volta'schen Säule bald so zu, daß man des Condensators nicht mehr bedarf, um sie nachzuweisen. Eine Säule von 60 bis 100 Plattenpaaren bringt schon eine bedeutende Diverzenz der Pendel im Goldblattelektrometer hervor.

Bringt man den einen Pol einer isolirten Säule von bedeutender Plattenzahl mit der inneren, den andern mit der äußeren Belegung einer dünnglasigen Leidner Flasche in Berührung, so wird diese augenblicklich bis zu dem Grade geladen, welcher der elektrischen Spannung der Pole entspricht. —

Diese Versuche beweisen die gleiche Natur der Elektricität, welche die Elektrisirmaschine liefert, mit der durch die Volta'sche Säule erzeugten.

Bringt man die beiden Pole einer Volta'schen Säule auf irgend eine Weise, etwa durch einen Metalldraht, in leitende Verbindung, so werden durch diesen Schließungsbogen die entgegengesetzten Elektricitäten zu einander übergehen. In dem Maaße aber, als die Elektricität von den Polen weggenommen wird, wird durch die Thätigkeit der Säule neue Elektricität geliefert, und somit wird der Schließungsbogen continuirlich in entgegengesetzter Richtung von den entgegengesetzten Elektricitäten durchströmt. Die Wirkungen dieses Stromes werden wir alsbald näher kennen lernen.

61 **Die trockene Säule.** Ganz nach dem Princip der Volta'schen hat Zamboni eine Säule construirt, in welcher der feuchte Leiter durch eine Papierscheibe ersetzt ist, und welche deshalb die trockene Säule genannt wird. Man construirt die trockenen Säulen am bequemsten aus unächtem Gold- und Silberpapier: man klebt mit Kleister einen Bogen unächten Silber-

papiers (Zinn) und einen Bogen unächten Goldpapiers (Kupfer) mit den Papierseiten zusammen, so daß man ein Papierblatt hat, welches auf der einen Seite mit Kupfer, auf der andern mit Zinn überzogen ist. Mehrere solcher Blätter werden nun auf einander gelegt und mittelst eines stählernen Durchschlags Scheibchen ausgeschlagen. Diese Scheibchen haben $\frac{1}{2}$ bis 1 Centimeter Durchmesser, wenn man kleinere, 2 bis 4 Centimeter, wenn man größere Säulen machen will. Diese Scheibchen werden nun in eine wohl isolirende Glasröhre, an welche einerseits bereits eine messingene Kapsel angekittet ist, so geschichtet, daß dasselbe Metall stets nach derselben Seite gekehrt ist. Die obere Hülse *h* Fig. 157. wird erst aufgekittet, wenn das ganze Röhrchen gefüllt ist. Man muß dafür sorgen, daß die Scheibchen nicht zu lose auf einander liegen, sondern, daß sie durch Aufsetzen der zweiten Kapsel möglichst stark zusammengepreßt werden, was am bequemsten dadurch geschieht, daß man auf das oberste Scheibchen ein Messingstäbchen von 2 bis 4 Linien Höhe aufsetzt, welches erst durch das Aufsetzen der zweiten Kapsel in die Röhre hineingedrückt wird. — Die beiden Messingkapseln bilden die beiden Pole der Säule.

Fig. 157.



Zamboni hat sehr wirksame trockene Säulen auch in der Weise construirt, daß er auf der unbelegten Seite eines Bogens von unächtem Silberpapier fein gepulverten Braunstein (Manganhyperoxyd) mittelst eines Korkstopfens einrieb. Aus solchen Blättern wurden dann die Scheiben ausgeschlagen, welche zum Aufbau der Säule dienen sollten.

Eine trockene Säule von 100 bis 200 Scheibchen bringt bereits ohne Condensation eine, wenn auch nicht bedeutende, Diverzenz am Goldblattelektrometer hervor. Mit wachsender Zahl der Plattenpaare wächst die Diverzenz. An den Polen einer trockenen Säule von mehren tausend Plattenpaaren ist die elektrische Spannung stark genug, um am Strohhalmelektrometer eine mehr oder weniger bedeutende Diverzenz hervorzubringen.

Bringt man die beiden Pole einer sehr dünnglasigen Leidner Flasche mit den Polen einer kräftigen trockenen Säule einige Zeit in Berührung, so wird die Flasche stark genug geladen, um einen empfindlichen Schlag zu geben. Singer construirte eine trockene Säule von 20000 Paaren, welche eine dünnglasige Flasche von 50 Quadratzoll Oberfläche in 10 Minuten so stark lud, daß der Entladungsschlag einen Platindraht von 1 Zoll Länge und $\frac{1}{5000}$ Zoll Durchmesser schmolz.

Die kräftigsten trockenen Säulen, selbst eine von 20000 Paaren, bringen noch keine chemische Wirkung hervor, wozu, wie wir bald sehen werden, schon eine Volta'sche Säule von wenigen Plattenpaaren ausreicht. Ueberhaupt giebt die trockene Säule zwar bedeutende Spannungserscheinungen, aber die Stromeffecte fehlen ihr. Daß diese Erscheinungen bei der Zamboni'schen Säule fehlen, hat besonders in der unvollkommenen Leitungsfähigkeit des Papiers seinen Grund. Die elektrischen Flüssigkeiten können nur langsam die Säule

bis zu den Polen durchwandern, und in Folge dieser Langsamkeit tritt ein Gleichgewichtszustand ein, den wir sogleich näher untersuchen wollen.

Wenn beide Pole der Säule isolirt sind, so häufen sich die entgegengesetzten Elektricitäten bald in gleichem Maaße an den Polen an; die Spannung wächst hier, bis die Elektricitätsmenge, welche jeder Pol durch die Luft in einem gegebenen Zeittheilchen verliert, gleich derjenigen Menge ist, welche in derselben Zeit dem Pole durch die Säule wieder zugeführt wird. Von diesem Augenblicke an bleibt die Spannung an den Polen constant. Wird nun die Luft feuchter, so beträgt der elektrische Verlust an den Polen einen größeren Bruchtheil der gesammten daselbst angehäuften Elektricität, während doch die Menge der dem Pole zugeführten Elektricität dieselbe bleibt; daraus ergiebt sich dann, daß in feuchter Luft die Spannung an den Polen geringer seyn muß als in trockener Luft.

Die Zamboni'schen Säulen wendet man an, um das sogenannte elektrische perpetuum mobile zu construiren. Zwei Säulen, jede etwa von 2000 Paaren, werden so neben einander gestellt, daß bei der einen der positive, bei der andern der negative Pol unten ist; diese beiden unteren Pole werden nun durch einen Metallstreifen in gut leitende Verbindung gebracht, während das Ganze isolirt bleibt, und dadurch erhält man ein System, welches in der That einer einzigen Säule von 4000 Paaren gleich ist, nur sind die beiden Pole dieser Säule nach oben gekehrt. Denken wir uns nun in die Mitte zwischen diese beiden oberen Pole ein ganz leichtes metallisches Pendel leicht beweglich und isolirt aufgehängt, so wird es von beiden Polen gleich stark angezogen, es bleibt also in Ruhe. Wird aber dieses Gleichgewicht gestört, so beginnt alsbald eine fortdauernde Bewegung. Kommt z. B. das Pendel mit dem positiven Pole in Berührung, so wird es mit $+E$ geladen, vom $+$ Pole abgestoßen und vom $-$ Pole angezogen; am letzteren Pole angekommen, giebt es an diesen seine positive Ladung ab, nimmt dagegen $-E$ auf und wird nun wieder nach dem $+$ Pol getrieben u. s. w. Ein Apparat der Art kann Jahre lang im Gang bleiben.

Fig. 158.

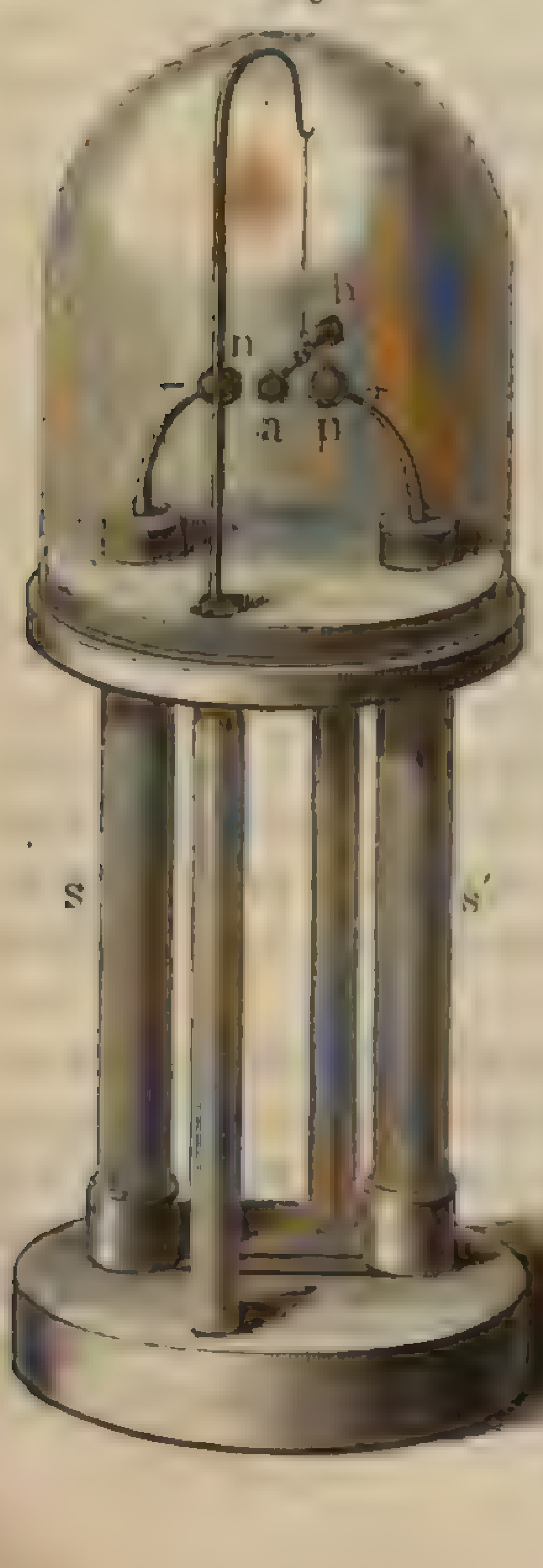


Fig. 158 stellt einen derartigen Apparat dar. s und s' sind die beiden Säulen. Die Messingkugeln n und p bil-

den ihre Pole. Das Pendel ab ist an einem einfachen Seidenfaden aufgehängt. Es ist durch ein isolirendes Stäbchen gebildet, welches einerseits das hohle Messingkügelchen a trägt, das zwischen p und n hin- und hergeht, andererseits aber die Kugel b, welche nur dazu dient, der Kugel a das Gleichgewicht zu halten. Um den Luftzug abzuhalten, ist der obere Theil des Apparates mit einer Glasglocke zugedeckt.

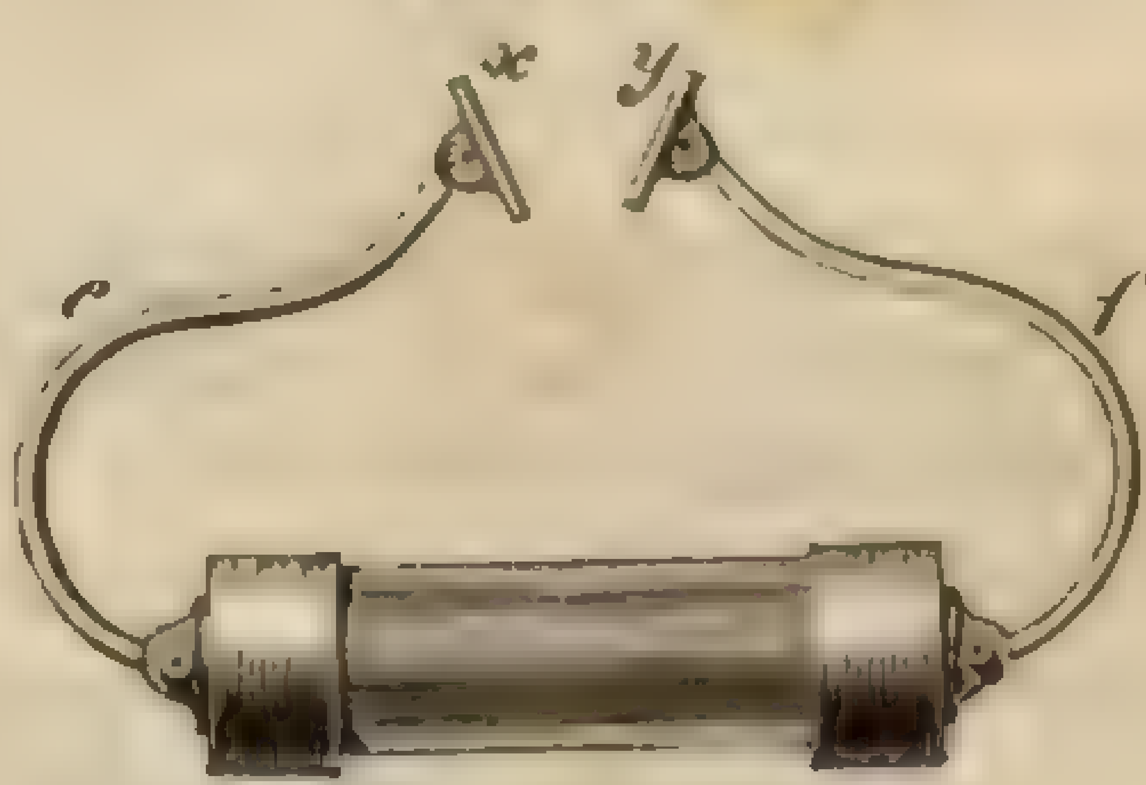
Zu den wichtigsten und sinnreichsten Anwendungen, die man von der trockenen Säule gemacht hat, gehört unstreitig das Bohnenberger'sche Elektroskop. Nachdem Bohnenberger an dem Goldblattelektrometer das eine Goldblättchen weggenommen hatte, brachte er auf jeder Seite des noch übrig gebliebenen, und zwar in gleicher Entfernung von demselben, eine trockene Säule an. Das Goldblättchen hängt also in der Mitte zwischen den Polen der beiden Säulen, und zwar befindet sich auf der einen Seite ein positiver, auf der andern ein negativer Pol, und so muß sich das Blättchen nach dem einen oder dem andern Pole hin bewegen, wenn ihm nur die geringste positive oder negative Ladung mitgetheilt wird.

Statt zweier vertikalen Säulen wandte Becquerel zuerst eine horizontale mit vertikalen Polplatten an, zwischen denen ihrer ganzen Länge nach das Goldblättchen herabreicht. Fechner hat diesen Apparat noch sehr verbessert und ihm die Fig. 159 und Fig. 160 dargestellte Einrichtung gegeben, durch

Fig. 159.



Fig. 160.



welche er höchst empfindlich und ein für die leichte und sichere Anstellung der Volta'schen Fundamentalversuche wahrhaft unentbehrliches Instrument wurde.

In dem Kasten, Fig. 159, befindet sich in horizontaler Lage eine Zamboni'sche Säule von 800 bis 1000 ungefähr thalergroßen Plattenpaaren, welche in einer Glasröhre luftdicht eingeschlossen, die an ihren Enden mit metallenen Kappen verschlossen ist. Diese Kappen stehen mit den Polen der Säule in leitender Verbindung, und von ihnen gehen die Metalldrähte e und f aus, die mit den Polplatten x und y endigen. Zwischen diesen Polplatten hängt, wie man in Fig. 159 sieht, das Goldblättchen an einem isolirten Metallstäbchen. Auf der einen Seite ist auf der oberen Fläche des Kastens, aus dem die Pol-

platten hervorragen, das Zeichen +, auf der andern das Zeichen — angebracht, so daß man sogleich durch die Richtung des Ausschlags von der Natur der dem Goldblättchen mitgetheilten Elektricität unterrichtet ist.

62 **Verschiedene Formen der galvanischen Kette.** Mit dem Namen der galvanischen Kette bezeichnet man alle Apparate, welche zur Hervorbringung eines continuirlichen elektrischen Stromes dienen. Nach Wheatston's Vorschlag kann man sie auch Rheomotoren nennen. In der Regel sind sie aus zwei Metallen und einer oder zwei Flüssigkeiten construirt. Die bisher besprochene Volta'sche Säule war der erste derartige Apparat; allein diese Form bietet mannigfache Mißstände. Die unteren Scheiben nämlich sind durch das Gewicht der oberen stärker zusammengedrückt; die feuchten Scheiben werden dadurch ausgepreßt, sie werden trocken, während die Flüssigkeit an der Seite der Säule herunterrinnt; dadurch wird aber eine leitende Verbindung zwischen den einzelnen Plattenpaaren hervorgebracht, welche den Totaleffect schwächt.

Der Trogapparat, welcher längere Zeit im Gebrauche war, ist Fig. 161 und Fig. 162 dargestellt. Die einzelnen Elemente bestehen aus rechtwinkligen Platten von Kupfer und Zink, welche auf einander gelöthet sind. Diese Plattenpaare sind einander parallel in einem Kasten von Holz, $b\,b'$, dessen Wände inwendig mit einer nichtleitenden Harzschicht überzogen sind, so befestigt, daß der Zwischenraum zwischen je zwei Plattenpaaren eine Zelle, einen Trog bildet, der mit gesäuertem Wasser gefüllt wird. Diese Wasserschicht, welche ungefähr 3 Linien dick ist, vertritt hier die Stelle der feuchten Scheibe.

Fig. 161.

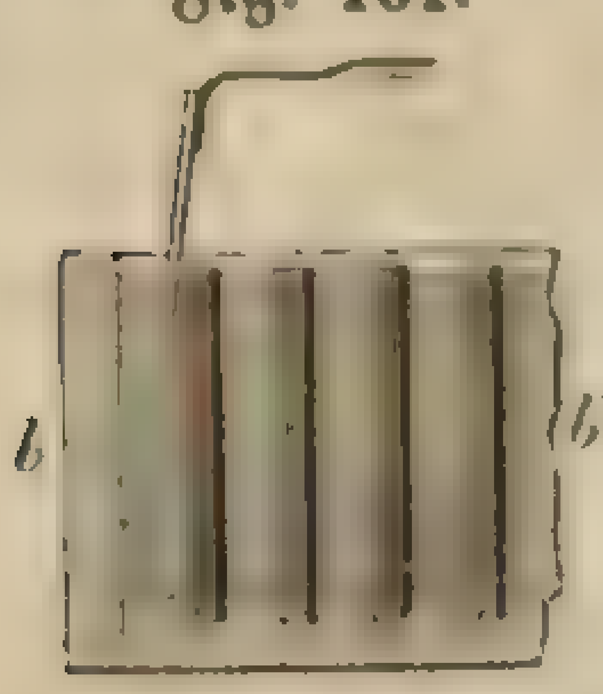
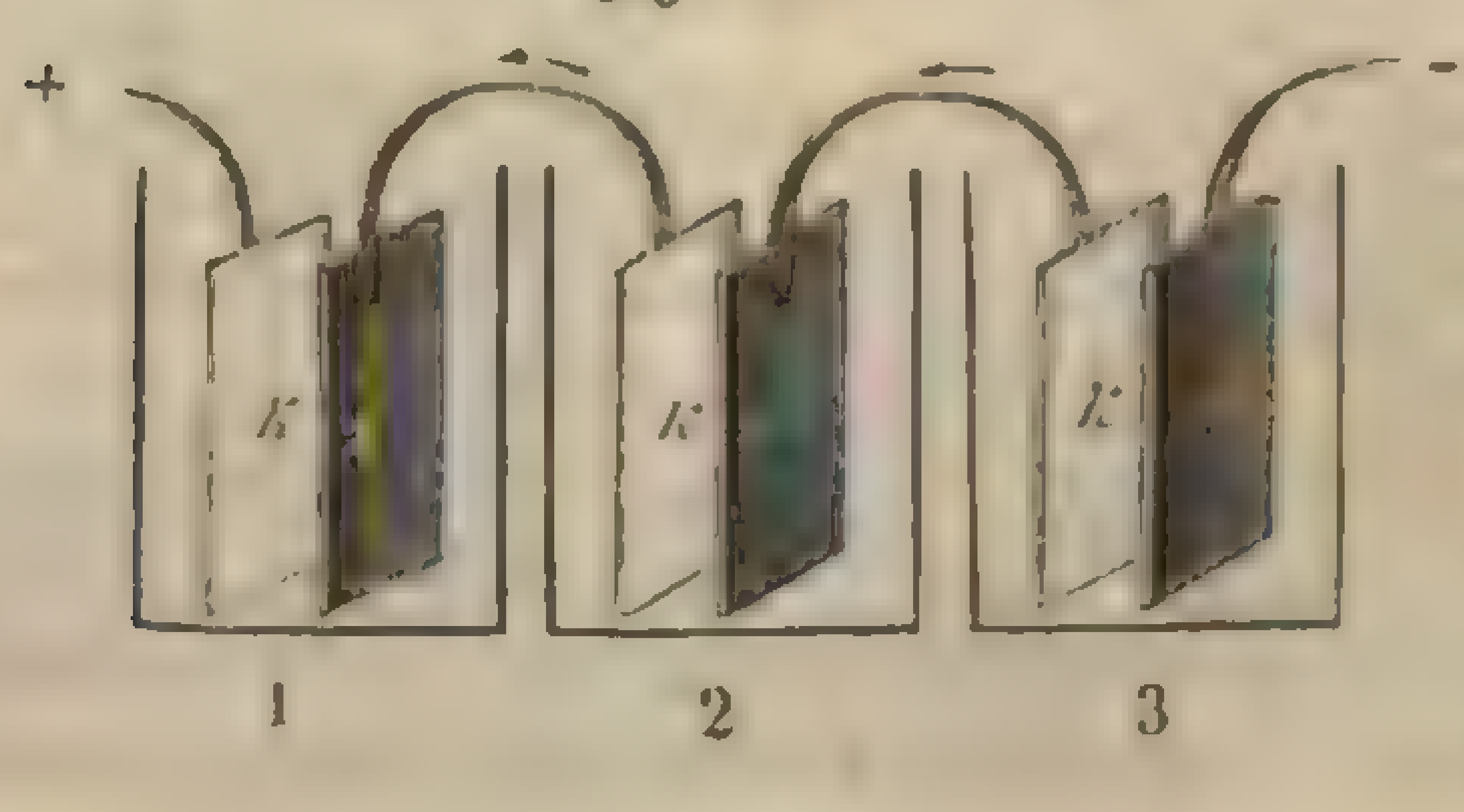


Fig. 162.



Bei anderen galvanischen Apparaten befindet sich die Flüssigkeit in getrennten Gefäßen oder Gläsern, die kreisförmig oder in gerader Linie zusammengestellt sind. Jedes Glas enthält eine Zink- und eine Kupferplatte, die sich aber nicht berühren, jede Zinkplatte ist durch einen Kupferdraht oder Kupferstreifen mit der Kupferplatte des vorhergehenden Glases verbunden, wie dies durch das Schema, Fig. 163, angedeutet ist, wo die Kupferplatten mit k, die Zinkplatten mit z bezeichnet sind. Die Zinkplatte im Glase 1 ist mit der Kupferplatte des Glases 2 durch einen Draht verbunden, die Zinkplatte in 1 wird also positiv, der positive Strom geht von dieser Zinkplatte durch die Flüssigkeit zur gegen-

Fig. 163.



überstehenden Kupferplatte, der positive Strom circulirt also in der durch die Pfeile angedeuteten Richtung.

Man hat die Form dieser Apparate durch Veränderung der Plattenform auf das Mannigfaltigste abgeändert; so ist z. B. in der Wollaston'schen Kette, von welcher in Fig. 164 zwei Elemente abgebildet sind, die Kupferplatte so um die Zinkplatte herumgebogen, daß jeder Seite der Zinkplatte eine Kupferfläche gegenübersteht.

Fig. 164.

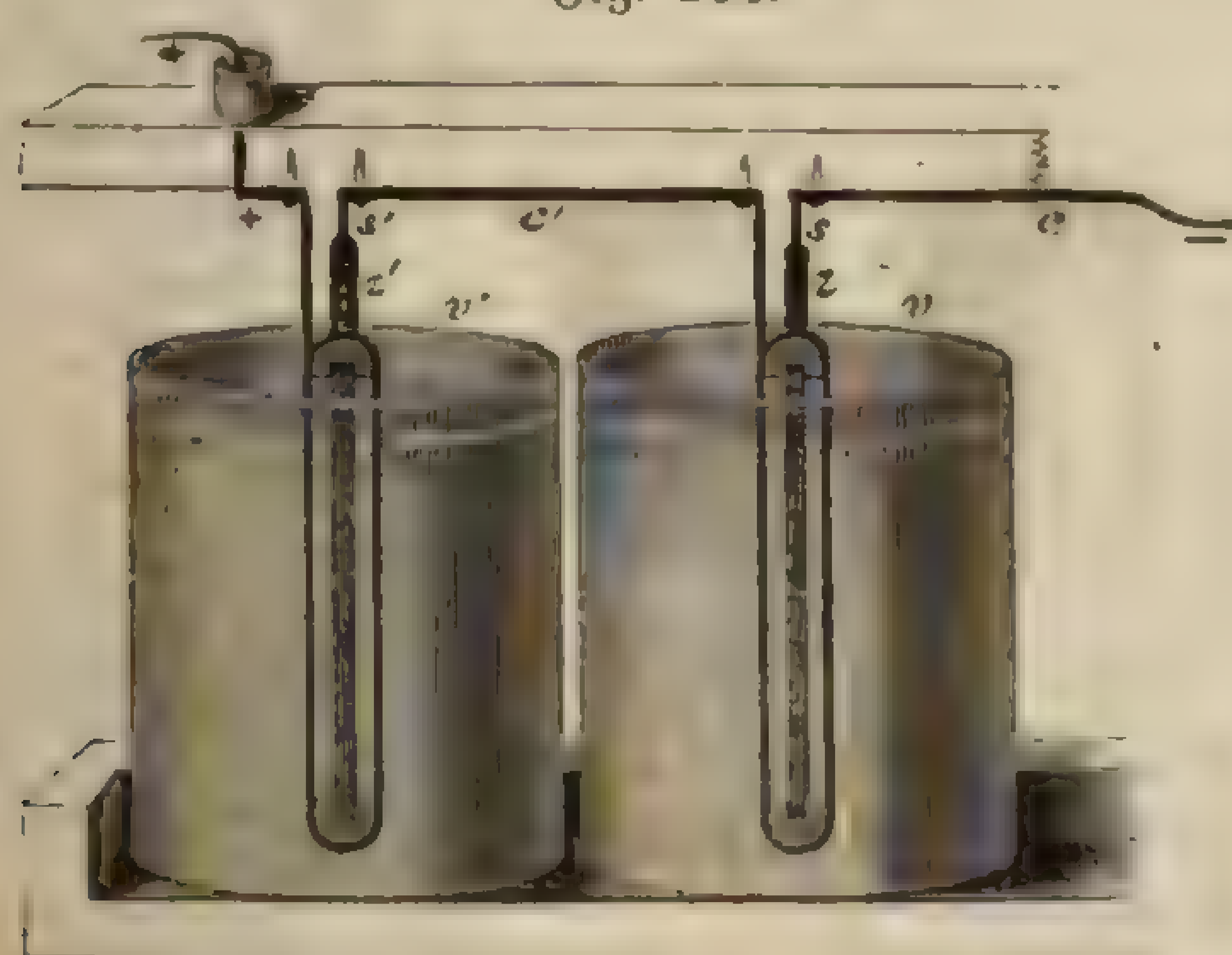


Fig. 165



Fig. 166.



Fig. 165 zeigt die Wollaston'sche Batterie von der Seite gesehen und Fig. 166 im Grundrisse. Sämmtliche Plattenpaare sind an einer Holzleiste befestigt, so daß man sie gleichzeitig in die Flüssigkeit eintauchen und wieder herausnehmen kann. Zur Füllung der Gefäße wendet man Wasser an, dem $^1/_{12}$ bis $^1/_{20}$ Schwefelsäure zugesetzt ist.

Statt der einzelnen Gläser wendet man auch Tröge von gebranntem und glasirtem Ton an, welche durch Scheidewände in einzelne Zellen getheilt sind, so daß immer ein Plattenpaar in eine Zelle kommt.

Diese Absonderung ist übrigens nicht absolut nöthig, die Säule ist auch noch wirksam, wenn man sämmtliche Plattenpaare in ein Gefäß ohne alle Abtheilungen eintaucht. Allerdings geht hier ein Theil des Effectes durch Nebenschließung verloren, dieser Verlust ist aber um so geringer, je kleiner die Anzahl der Plattenpaare ist.

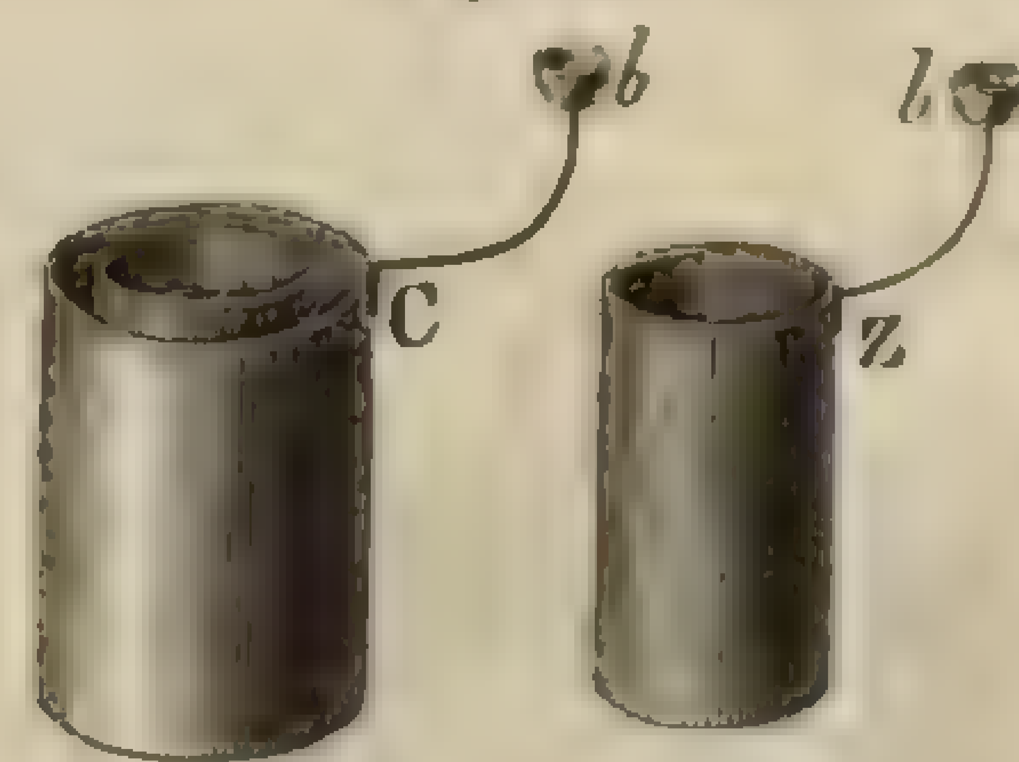
Ganz in ähnlicher Weise, wie die Wollaston'sche Batterie, ist auch die Smee'sche aus Zink und platinirtem Silber construirt; nur ist die Silberplatte auf beiden Seiten vom Zink umgeben, wie es auch bei der Platinplatte der Grove'schen Batterie der Fall ist, die wir bald werden kennen lernen.

Wo man getrennte Gläser anwendet, um die einzelnen Plattenpaare hineinzutauchen, da ist es der Raumersparniß wegen vortheilhaft, den Metallplatten die Form eines hohlen Cylinders zu geben, wie Fig. 167 zeigt, wo *k* den Kupfercylinder, *z* einen engeren concentrisch hineingestellten Zinkcylinder darstellt, wie sie in ein und dasselbe Glasgefäß eingestellt werden. Es versteht sich von selbst, daß der Zinkcylinder mit dem Kupfercylinder desselben Gefäßes nicht in metallischer Verbindung steht. Jeder Kupfercylinder ist durch einen Kupferdraht oder einen Streifen von Kupferblech mit dem Zinkcylinder des folgenden Paares verbunden. — Dies ist die Grundform der meisten neueren Rheomotoren.

Fig. 167.



Fig. 168.



Der Kupfercylinder *k* kann selbst das Gefäß bilden, wenn er unten geschlossen ist; dies ist z. B. bei Oersted'schen Apparaten, Fig. 168, der Fall. *C* ist ein Gefäß, welches durch zwei Cylinder von Kupferblech gebildet ist, die ungleichen Durchmesser haben, von denen der eine in dem andern steckt und die am Boden mit einander verbunden sind, so daß ein Raum zwischen beiden bleibt, welcher den Zinkcylinder *Z* und das gesäuerte Wasser aufnimmt. An dem Zinkcylinder ist ein Kupferdraht angelöthet, der mit einem Näpfchen endigt, in welches Quecksilber gegossen wird. Ein ähnliches Quecksilbernäpfchen ist an dem Kupfergefäße angelöthet. Wenn man den Zinkcylinder in das Kupfergefäß hineinstellt, so muß man dafür sorgen, daß das Zink mit dem Kupfer nicht in leitende Berührung kommt. Man hindert diese Berührung am besten durch einige Stückchen Kork. Wenn man die Kette schließen will, so verbindet man die Quecksilbernäpfchen durch einen Metalldraht.

Fig. 169.

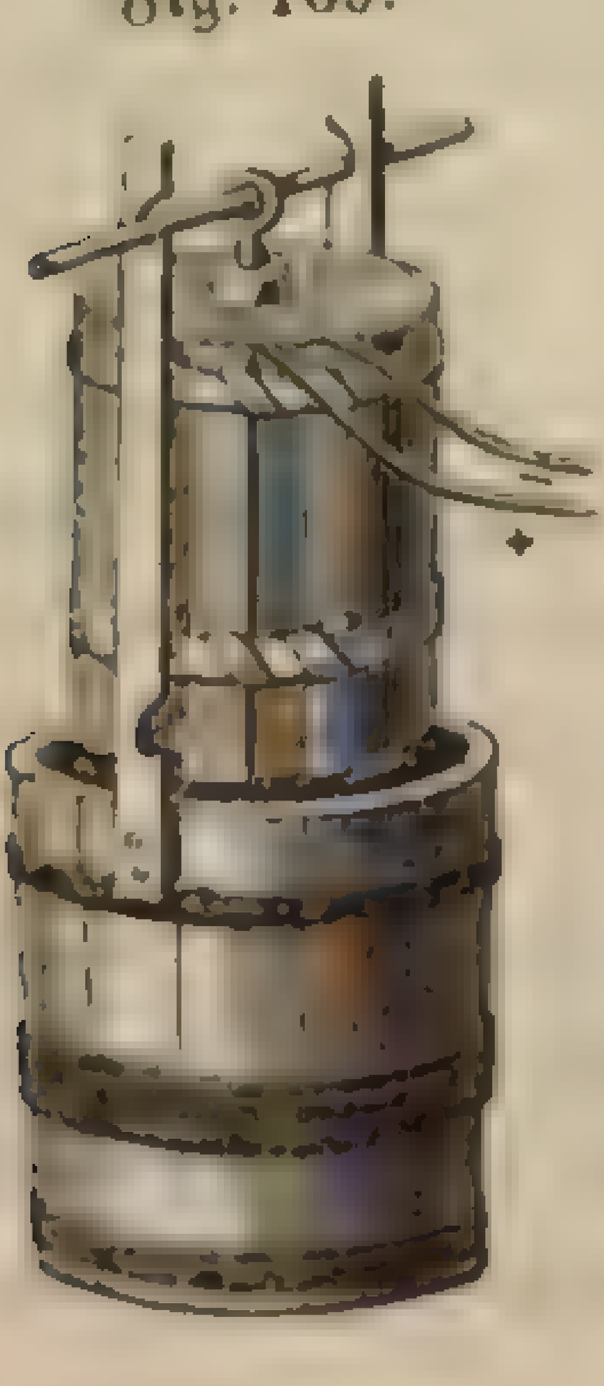
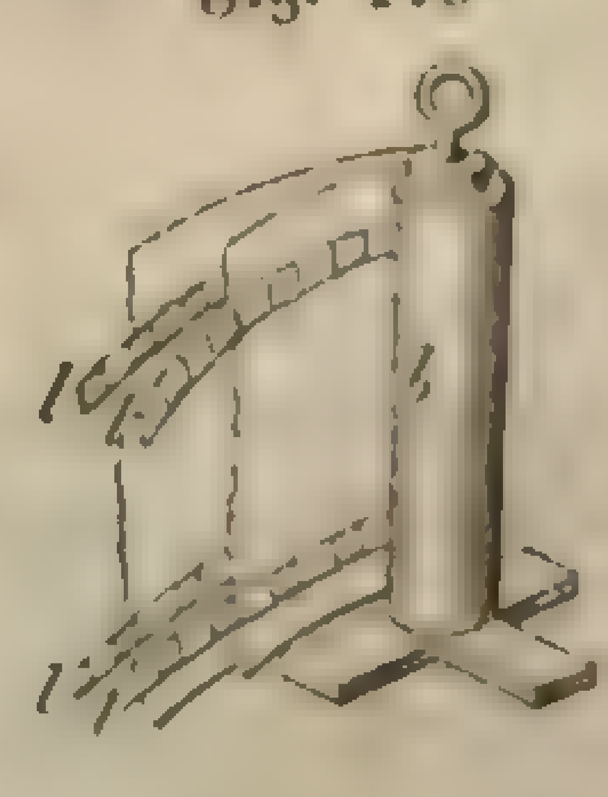


Fig. 170

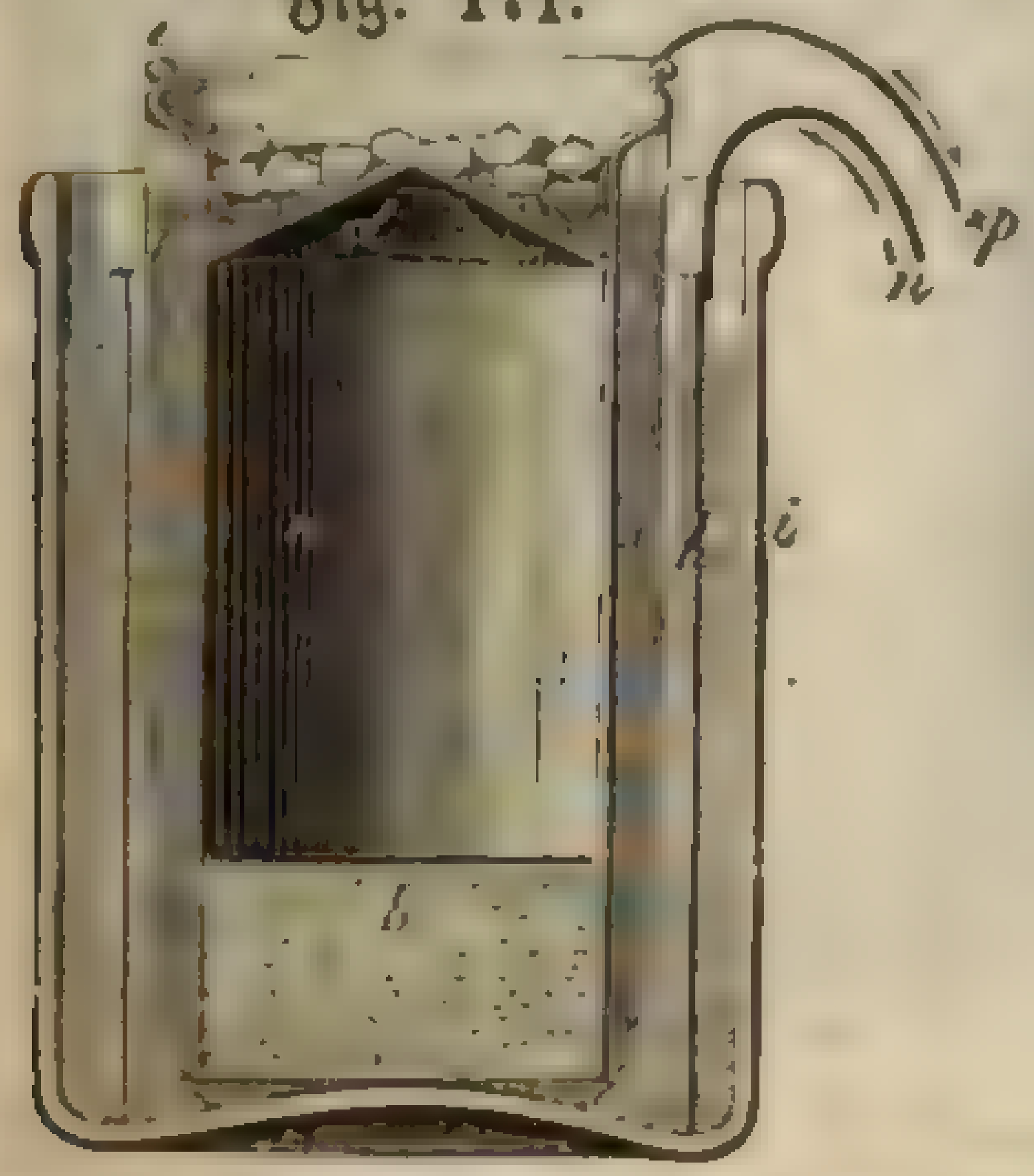


Wenn es auf eine sehr große Oberfläche der Metallplatten ankommt, wendet man Hare's Calorimotor an, welcher Fig. 169 und Fig. 170 dargestellt ist. Auf einem Holzcylinder *b*, welcher etwa 3 Zoll im Durchmesser hat und 1 bis 1,5 Fuß hoch ist, sind zwei Platten, die eine von Zink, die andere von Kupfer gleichsam auf-

gewickelt, welche durch Tuchstreifen *l* von einander getrennt sind. Man erhält auf diese Weise ein Plattenpaar von 50 bis 60 Quadratfuß Oberfläche. Der Name Calorimotor rührt daher, weil dieser Apparat ganz besonders geeignet ist, Metalldrähte glühend zu machen und zu schmelzen.

Bei allen den bis jetzt besprochenen einfachen und zusammengesetzten Ketten ist die Wirkung gleich nach dem Eintauchen in die saure Flüssigkeit sehr energisch, sie nimmt aber sehr rasch ab. Diese Veränderlichkeit des Stroms ist nun für immer, namentlich aber dann störend, wenn es sich darum handelt, vergleichende Versuche über die Stromkraft anzustellen. Von diesem Uebelstande sind nun die sogenannten constanten Batterien frei, die erst in neuerer Zeit in Aufnahme gekommen sind. Hier wird vor der Hand nur eine Beschreibung der wichtigsten constanten Ketten folgen, die Theorie derselben aber, sowie die Auseinandersetzung der Gründe, warum in gewöhnlichen Ketten die Stromkraft so rasch abnimmt, muß einem späteren Kapitel vorbehalten bleiben.

Fig. 171.



Als Erfinder der constanten Ketten muß Becquerel genannt werden. Die Fig. 171 stellt ein Element einer constanten Becquerel'schen Kette dar; es besteht aus einem hohlen Cylinder *a* von ganz dünnem Kupferblech, welcher durch etwas Sand *b* beschwert und von allen Seiten verschlossen ist. Der untere Boden *c* ist eben, der obere *d* ist konisch, über demselben erhebt sich ein Rand *e*, in dem mehrere Löcher angebracht sind. Der ganze Cylinder ist nun mit einer Thierblase *g* umgeben, welche an dem Rande *e*, über den Löchern *f*, befestigt ist. Auf den Kegel *d* gießt man nun eine Auflösung von Kupfervitriol, welche durch die Löcher *f* ausläuft, um den Raum zwischen der Blase und dem Cylinder *a* auszufüllen; auf den Kegel *d* werden denn einige Stücke Kupfervitriol gelegt, welche nach und nach in der Flüssigkeit aufgelös't werden, von welcher sie immer umspült seyn müssen. Die Blase ist von einem hohlen Zinkcylinder *h* umgeben, welcher der Länge nach aufgeschlitzt ist, so daß man ihn nach Belieben etwas enger oder weiter machen kann. Dieser Zinkcylinder sowohl, wie die Blase, welche den Kupfercylinder und die Kupfervitriollösung enthält, sind in ein Gefäß *i* von Glas oder Porzellan getaucht, welches verdünnte Schwefelsäure oder eine Lösung von Zinkvitriol oder Kochsalz enthält. Zwei starke Kupferdrähte *p* und *n*, von denen der eine an den Zinkcylinder, der andere an das Kupfer angelöthet ist, bilden die beiden Pole des Elementes. Stellt man zwischen diesen beiden Poldrähten eine metallische Verbindung her, so beginnt die Circulation des elektrischen Stromes.

Daniell's constante Batterie ist nur eine Modification der Becquerel'schen. Ein massiver Zinkcylinder befindet sich mit verdünnter Schwefelsäure in einer Blase oder in einem hohlen unten verschlossenen Cylinder von

porösem Thon (der Masse der irdenen Pfeifen). Dieser Thoncylinder wird nun sammt seinem Inhalte in ein cylindrisches Kupfergefäß gestellt, welches mit einer Lösung von Kupfervitriol gefüllt ist. Die Daniell'sche Batterie ist Fig. 172 und Fig. 173 dargestellt. Die letzte dieser beiden Figuren zeigt den oberen Theil eines Elementes, die erste die ganze Batterie. *efgh* ist der Thoncylinder, der mit Schwefelsäure gefüllt ist und in dessen Mitte sich ein massiver Zinkcylinder *m* befindet. Der Thoncylinder selbst steht in der Mitte eines mit

Fig. 172.

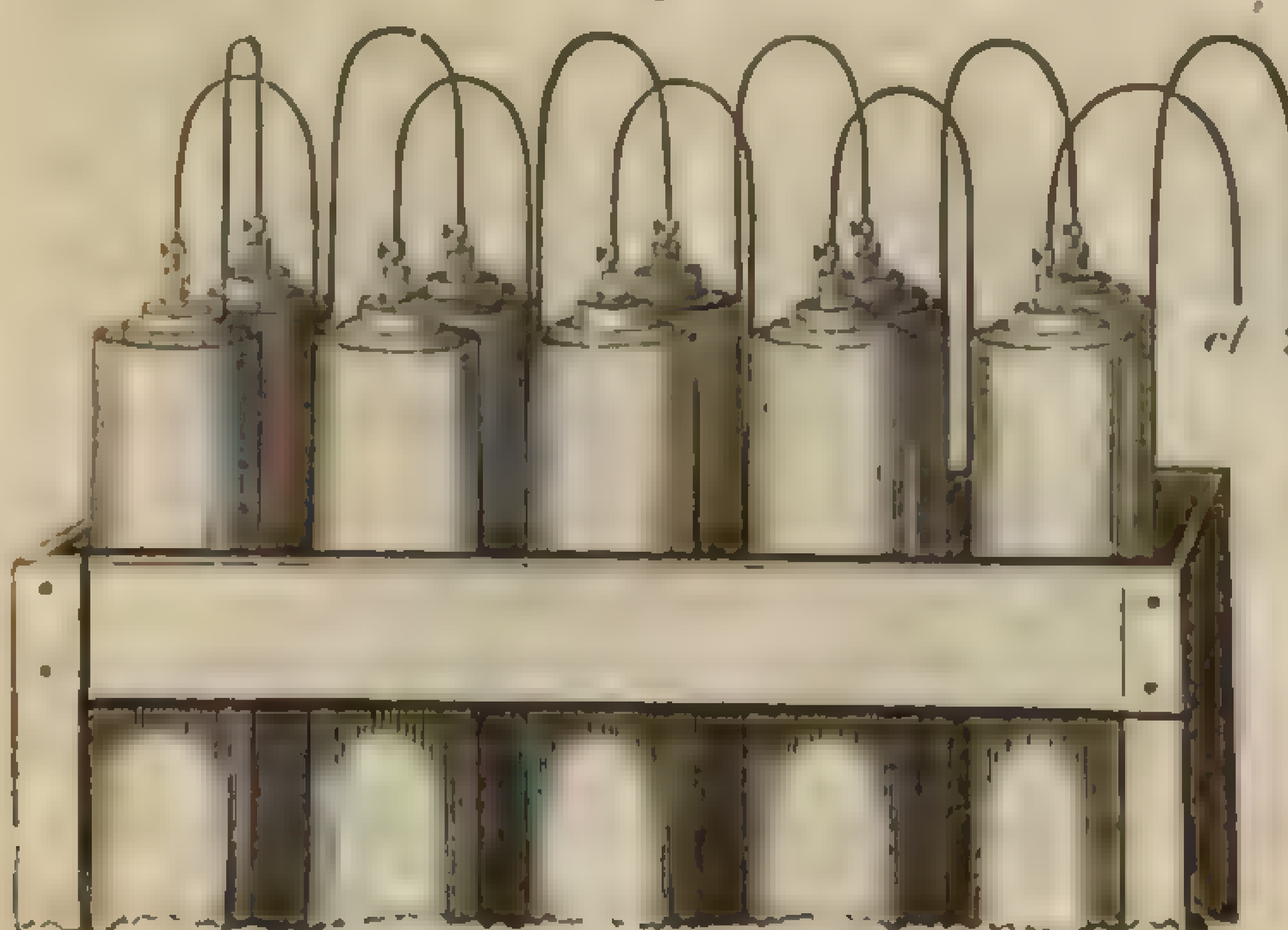
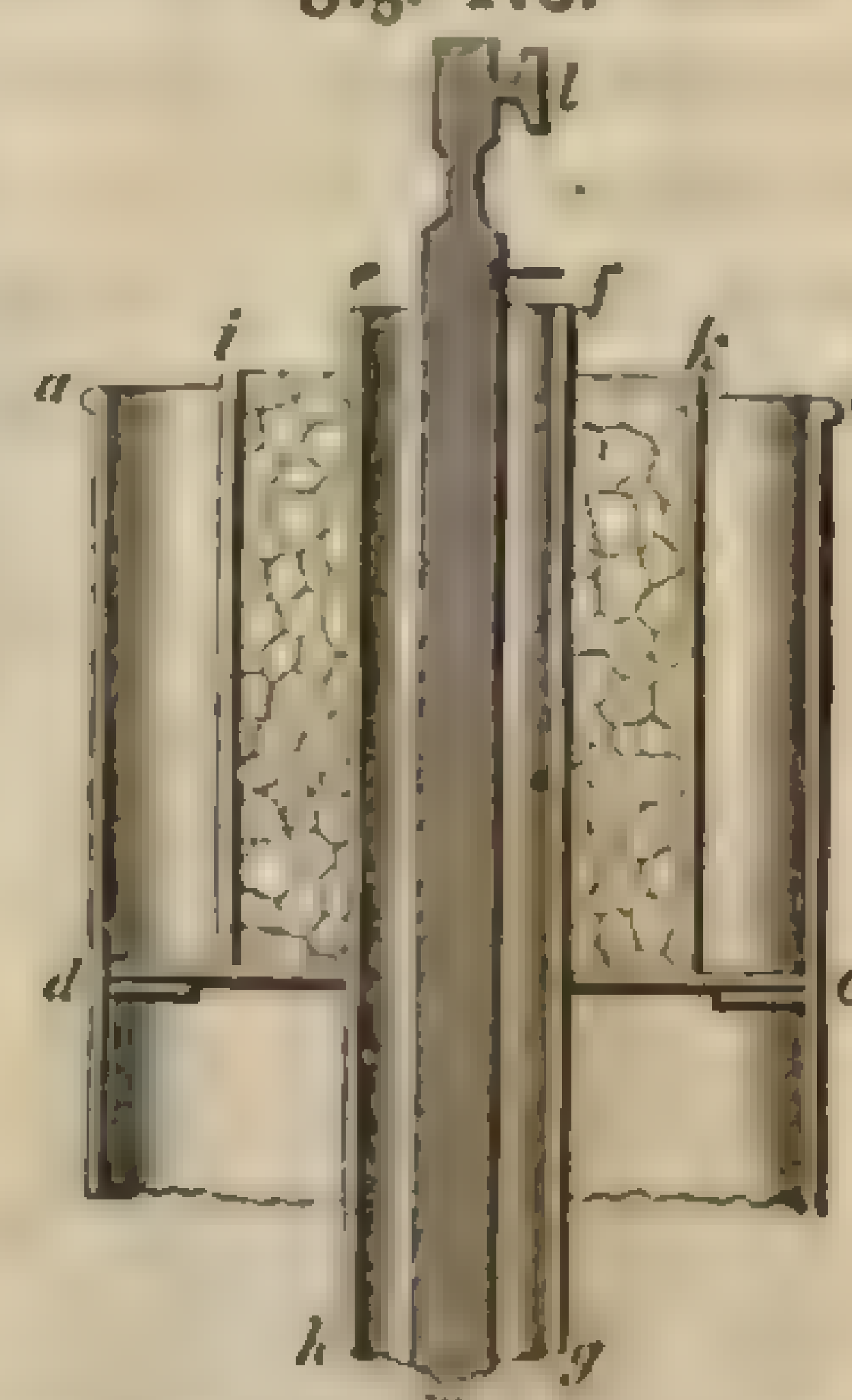


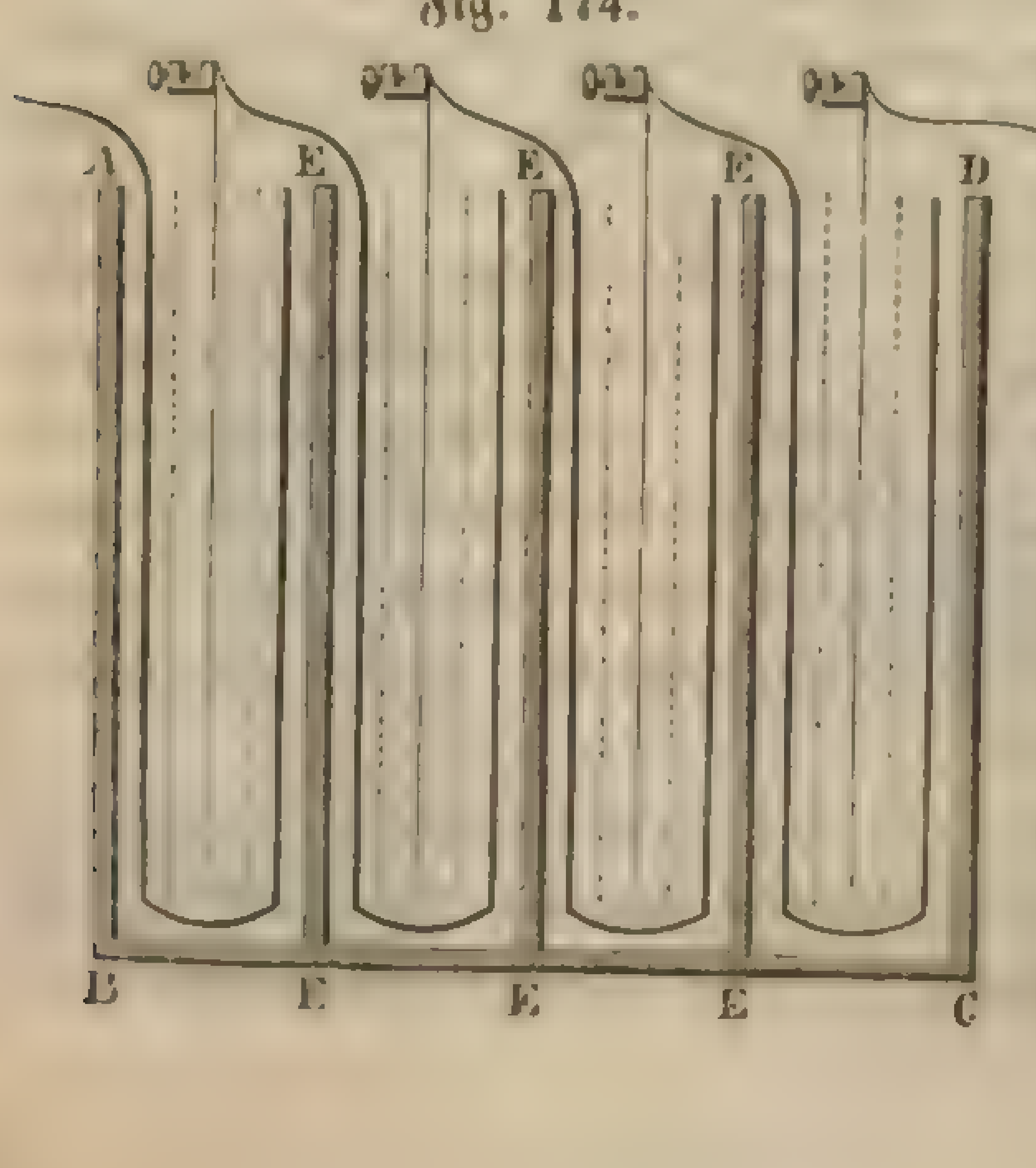
Fig. 173.



einer Lösung von Kupfervitriol gefüllten Kupfercylinders. Am oberen Ende des Kupfercylinders befindet sich ein Behälter *ik*, welcher an den Seiten und am Boden durchlöchert ist. Dieser Behälter nun ist mit Stücken von Kupfervitriol angefüllt, welche beständig mit der Flüssigkeit des Kupfercylinders in Berührung sind; in dem Maaße nun, als sich während der Circulation des Stromes metallisches Kupfer an den Wänden des Kupfergefäßes abscheidet, wird oben eine entsprechende Menge des Salzes aufgelöst.

Jeder Zinkcylinder ist mit dem Kupfergefäße des folgenden Paares durch einen Draht verbunden, wie man Fig. 172 sieht.

Fig. 174.



Bei beiden Apparaten kommen zwei Flüssigkeiten vor, welche entweder durch die Thierblase oder durch die poröse Thonmasse getrennt sind. Diese Scheidewand hindert jedoch nicht, daß die beiden Flüssigkeiten in Berührung kommen, sie hindert nur ihre Mischung. Bei der Becquerel'schen Kette ist die Lösung des Kupfervitriols innerhalb, bei der Daniell'schen außerhalb der Scheidewand.

Die Grove'sche Batterie ist aus Zink und Platin construirt; Fig. 174

zeigt schematisch die ursprüngliche Form derselben. *A B C D* ist ein Trog von Steingut, welcher durch die Scheidewände *E* in einzelne Zellen getheilt ist, von denen jede ein Plattenpaar aufnimmt. Die punktirten Linien bezeichnen den Durchschnitt poröser Thongefäße von parallelepipedischer Gestalt.

Fig. 175.

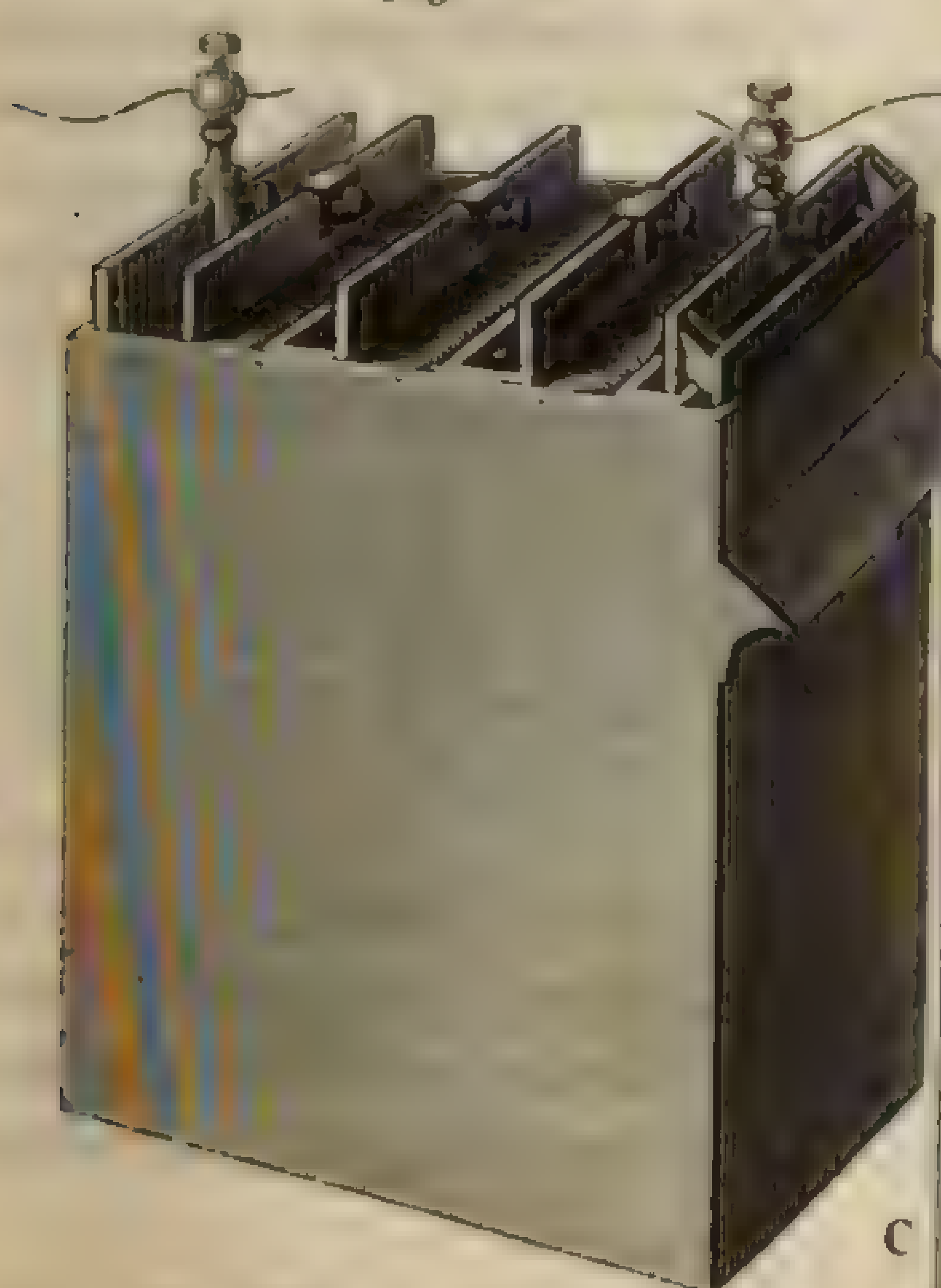


Fig. 176.



Jede Thonzelle wird mit concentrirter Salpetersäure, der sie umgebende Raum wird mit verdünnter Schwefelsäure gefüllt. In jeder porösen Thonzelle hängt eine Platinplatte herab, welche an den oben umgebogenen Rand der folgenden Zinkplatte angeschraubt ist. Die Zinkplatte ist so umgebogen, daß sie von beiden Seiten das poröse Thongefäß umgiebt. Es ist dies deutlicher aus Fig. 176 zu ersehen, welche das letzte Plattenpaar der einen Seite darstellt. *B* ist das poröse Thongefäß, in welches die Platinplatte hinabhängt. An dem umgebogenen Rande *a* der Zinkplatte *A* ist die Platinplatte *C* angeschraubt, welche in die folgende Zelle hinabhängt.

Fig. 175 stellt endlich eine Batterie von 4 Plattenpaaren dar.

Die rectangulären Thonzellen sowohl, wie auch der ganze Trog mit den Scheidewänden sind sehr schwierig anzufertigen. Man hat deshalb die Form des Apparates dahin abgeändert, daß man runde Thonzellen und runde Glasgefäße anwendet.

Fig. 177 f. S. stellt einen derartigen Grove'schen Becher dar. In einem runden Glasgefäße, welches verdünnte Schwefelsäure enthält, steht der hohle Zinkcylinder. Innerhalb derselben steht die poröse Thonzelle, welche mit Salpetersäure gefüllt wird und in welche das Platinblech eingetaucht ist. Das Platinblech ist, wie man aus Fig. 178 f. S. deutlicher sieht, an einem runden Brettchen befestigt, welches gleichsam den Deckel für die Thonzelle bildet. In diesem Deckel steckt ein Stückchen Kupferblech, an welchem unten das Platinblech befestigt ist, während oben eine Messingklammer aufgeschraubt wird. Eine ähnliche Messingklammer sitzt auf dem Messingcylinder. Diese Klammern haben oben runde Löcher, in welche man Draht einstecken und durch

die obere Schraube fest einklemmen kann; mit Hülfe dieser Klammern kann man nun leicht das Platinblech des einen Elementes mit dem Zink des folgenden verbinden und so die einzelnen Elemente gleichsam zur Säule vereinigen. Verbindet man dagegen durch einen Kupferdraht alle Zinkcylinder, durch einen zweiten alle Platinbleche, so erhält man eine Combination, welche wirkt wie ein Element von sehr großer Oberfläche.

Fig. 177.

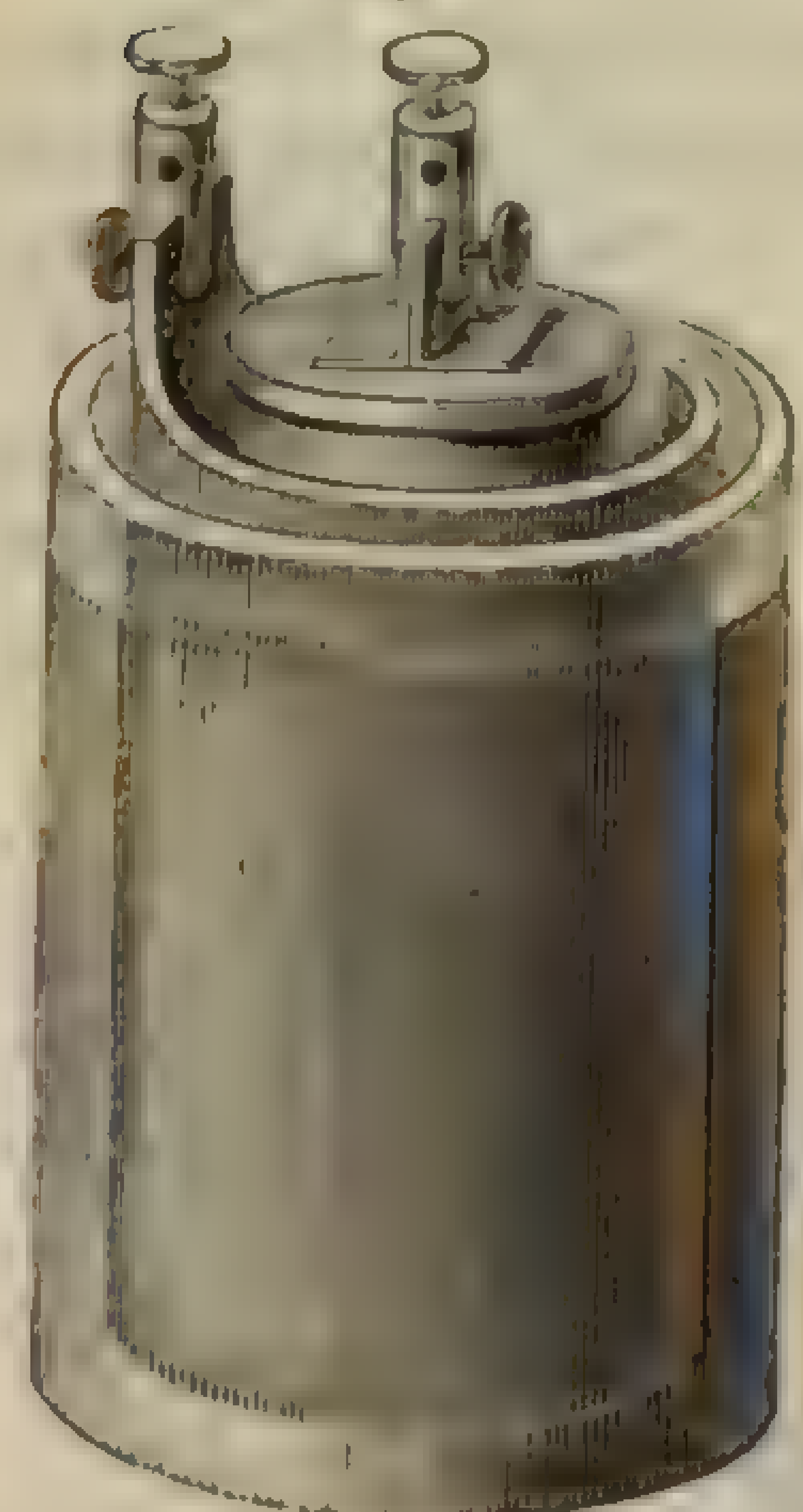


Fig. 178.



So vortrefflich auch die Wirksamkeit der Grove'schen Batterie ist, so steht ihrer allgemeineren Verbreitung doch die Kostbarkeit des Platins hindernd in dem Wege. In dieser Hinsicht besonders verdient Bunsen's constante Zink-Kohlenbatterie allgemeine Empfehlung, da man mit dieser Einrichtung ganz ungemein kräftige Wirkungen mit einem verhältnißmäßig geringen Kostenaufwande hervorbringen kann.

In der Bunsen'schen Batterie ist das Platin durch die noch mehr elektronegative Kohle ersetzt, und zwar wird die Kohle in Form von hohlen Cylindern angewendet. Ein solcher hohler, unten offener Cylinder von 4 Zoll Höhe, $2^{1}/_{2}''$ Durchmesser und ungefähr $2'''$ Wanddicke ist, wie man in Fig. 179 sieht, in ein Glasgefäß gestellt, welches oben etwas enger ist, so daß hier kein merklicher Zwischenraum zwischen der Kohle und dem Glase bleibt, der Cylinder also ganz fest im Glase steht. In die Höhlung des Kohlencylinders wird nun ein hohler unten verschlossener Cylinder von porösem Thon gestellt, welcher bei einer Höhe von ungefähr $3^{1}/_{2}''$ einen solchen Durchmesser hat, daß er eben in die Höhlung des Kohlencylinders paßt und zwischen dem Thon und der Kohle nur noch ein ganz geringer Zwischenraum bleibt. Die Thonzelle wird mit verdünnter Schwefelsäure gefüllt, das Glas aber enthält so viel concentrirte Salpetersäure, daß, wenn der Thoncylinder eingesetzt wird, fast der ganze noch freie Raum des Glases bis zum engeren Halse mit dieser Flüssigkeit angefüllt ist.

Fig. 179.

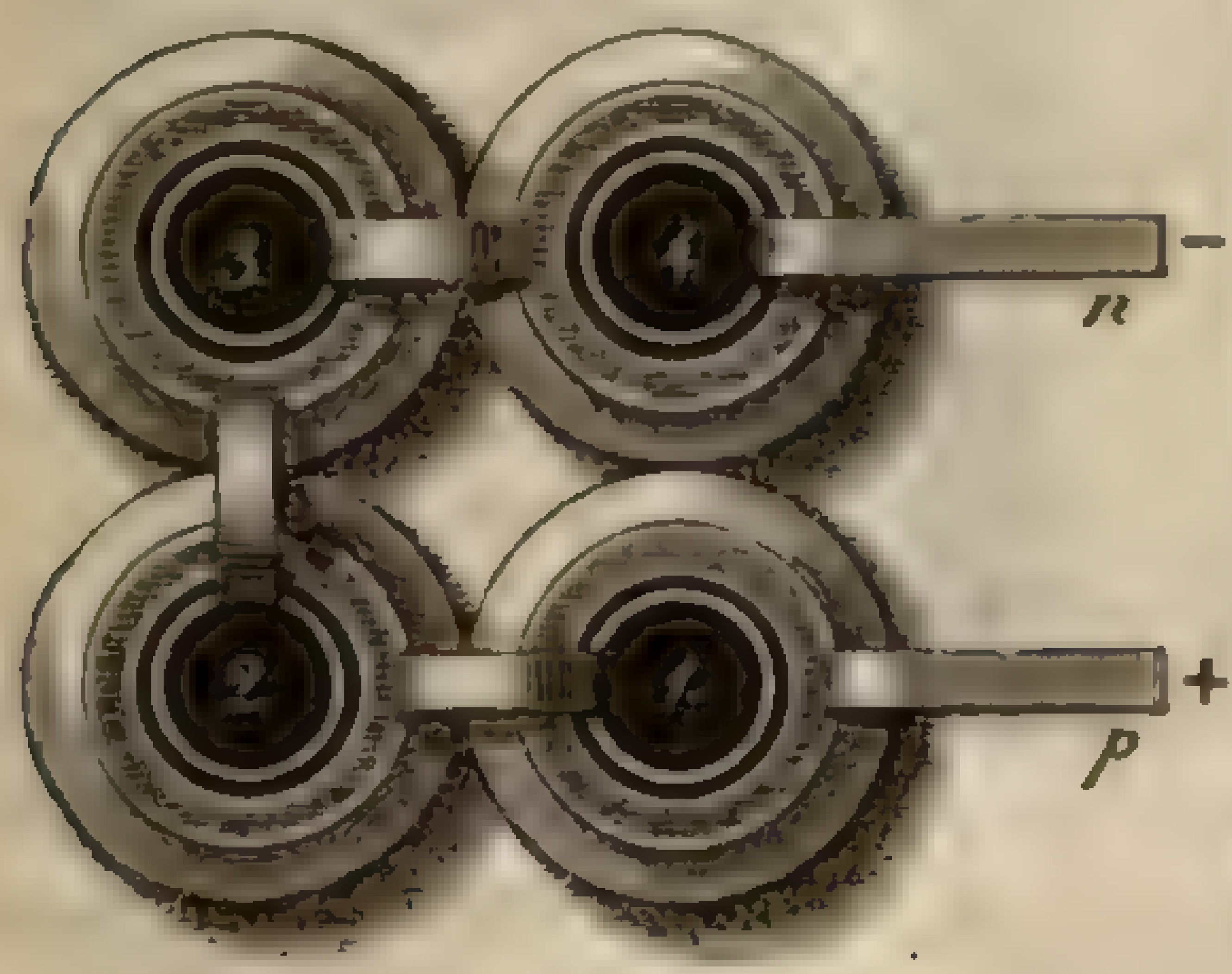


Das obere Ende des Kohlencylinders ragt aus dem Glase hervor und ist schwach konisch abgedreht, so daß ein ebenfalls wenig konischer Ring *a* von Zink fest aufgesetzt werden kann. Der Ring trägt vermittelst des Zinkbügels *b* einen hohlen Zinkcylinder *c*, welcher ungefähr $3''$ hoch ist und $1''$

3''' im Durchmesser hat. Dieser Cylinder c hängt in die mit verdünnter Schwefelsäure gefüllte Thonzelle des folgenden Glases.

Wie ein Zinkkohlenpaar mit dem nächsten verbunden ist, sieht man deutlich aus Fig. 180, welche eine Combination von 4 Paaren im Grundrisse darstellt. Die Kohlencylinder sind durch horizontale Schraffirung unterschieden.

Fig. 180.



Innerhalb eines jeden Kohlencylinders sieht man in der Fig. zwei weiße Ringe; der äußere derselben stellt den von oben gesehenen Thoncylinder, der innere den Zinkcylinder dar. Der Zinkcylinder des ersten Glases ist durch einen Bügel mit dem Zinkringe verbunden, welcher den Kohlencylinder des zweiten Glases umfaßt. Ebenso verbindet ein Zinkbügel den Zinkcylinder des zweiten mit dem Zinkringe des dritten Glases, und ein dritter Bügel verbindet den dritten Zinkcylinder mit dem vierten Zinkringe. Der Ring, welcher auf dem ersten Kohlencylinder aufsitzt, endigt mit einem Zinkstreifen, welcher als positiver Pol dient; der Zinkstreifen n, mit welchem der Zinkcylinder im vierten Glase endigt, ist der negative Pol der Kette.

Auf dieselbe Weise werden Ketten von beliebig vielen Paaren zusammengesetzt.

In jedem einzelnen Paare geht der positive Strom von dem die Kohle umschließenden Zinkringe durch den Bügel zum Zinkcylinder des nächsten Glases, von diesem durch die verdünnte Schwefelsäure, durch die Poren der Thonzelle und die Salpetersäure zur nächsten Kohle u. s. w.

Bei der eben beschriebenen Einrichtung der Bunsen'schen Kette ist es ein Uebelstand, daß der Zinkcylinder in dem einen Glase mit dem Ringe, welcher die Kohle des nächsten Glases umfaßt, in fester Verbindung steht; dadurch wird es nämlich unmöglich, irgend einen Zinkcylinder aus der Flüssigkeit herauszuheben, ohne die ganze Kette vom negativen Pole an auseinander zu nehmen; alsdann ist es bei dieser Einrichtung unmöglich, die einzelnen Elemente unter sich so zu combiniren, daß alle Kohlencylinder und dann alle Zinkcylinder mit einander verbunden sind, so daß man gleichsam ein Element von sehr großer Oberfläche erhält. Diese Nachtheile werden durch folgende Einrichtung gehoben. Statt des Zinkringes a in Fig. 179 wird ein Kupferring, welcher Fig. 181 a. f. S. dargestellt ist, um den Kohlencylinder gelegt, und ein festes Anschließen durch die Schraube a bewirkt; an diesen Kupferring ist ein Kupferstreifen angenietet, an dessen Ende sich eine Schraube b befindet. An den Zinkcylinder ist ein Kupferbügel angelöthet, dessen Ende eingeschlitzt ist, so daß man den Zinkstreifen leicht zwischen dem Ende des Kupferstreifens und dem Kopfe der Schraube b festklemmen kann, wodurch dann der Ring mit dem Zinkcylinder verbunden ist.

Der letzte Kupferring, welcher den positiven, und der letzte Zinkcylinder, welcher den negativen Pol bildet, sind mit längeren Kupferstreifen versehen.

Fig. 181.

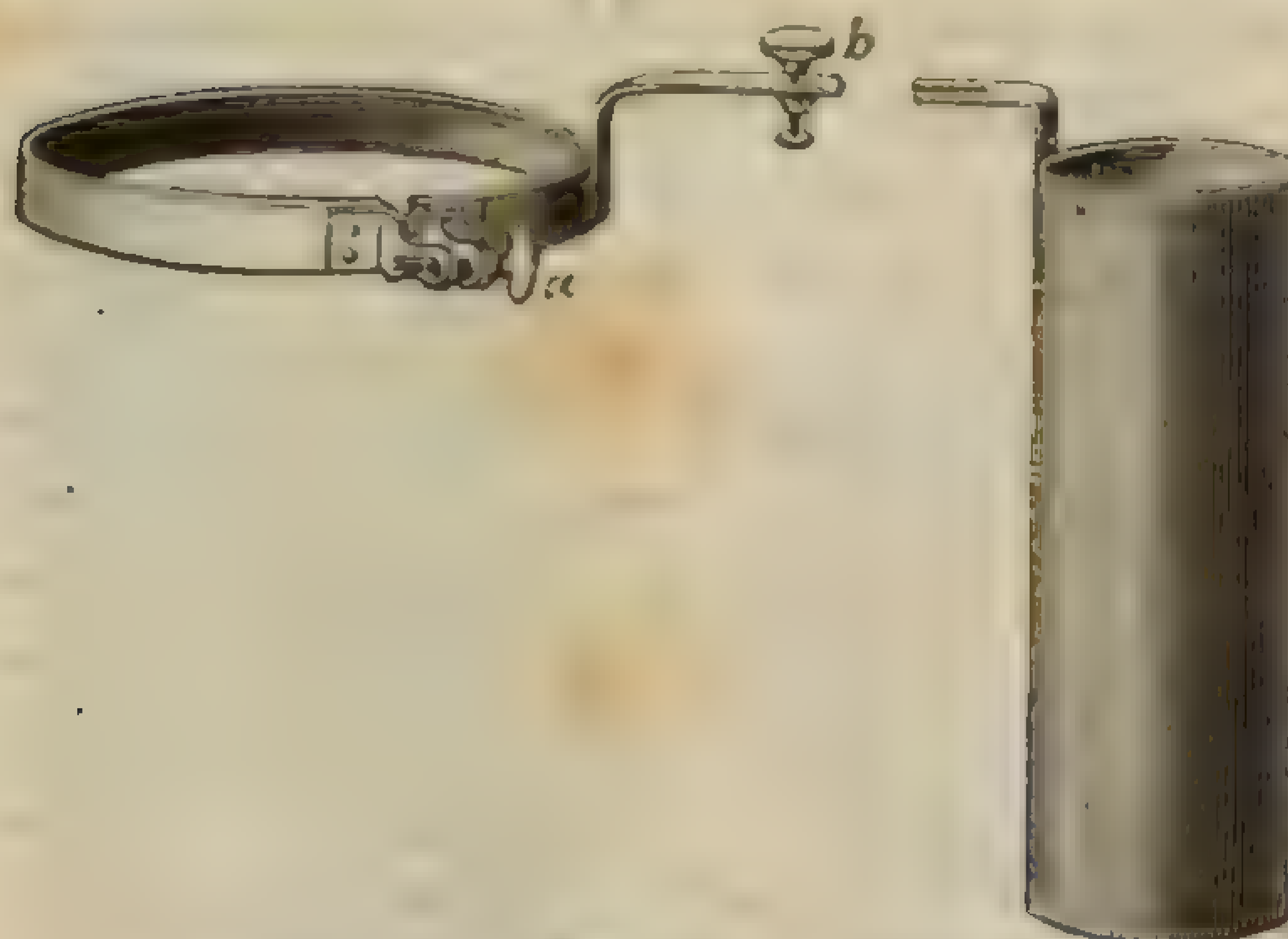


Fig. 182 zeigt 6 Elemente, welche so verbunden sind, daß einerseits alle Kohlen-, und andererseits alle Zinkcylinder in Verbindung stehen, eine Combination, welche ebenso wirkt, wie ein einziges Element von 6facher Oberfläche. In Fig. 183 sieht man deutlicher, auf welche Weise der Kupferstreifen *a b* zwischen die Kupferbügel je zweier Zinkcylinder eingeklemmt ist. Der Kupferstreifen *c d* ist zwischen den an den Kupferringen der Elemente 1, 2 und 3 befestigten Kupferstreifen eingeklemmt; auf dieselbe Weise verbindet der Kupferstreifen *e f* die Kohlen der Elemente 4, 5 und 6. An den Stellen, wo die Kupferstreifen *c d* und *e f* eingeklemmt werden, sind sie natürlich rechtwinklig auf ihre Längenrichtung bis zur Mitte eingeschlitzt, ähnlich wie dies bei den Kupferbügeln der Fall ist, welche sich an den Zinkcylindern befinden.

Fig. 182.

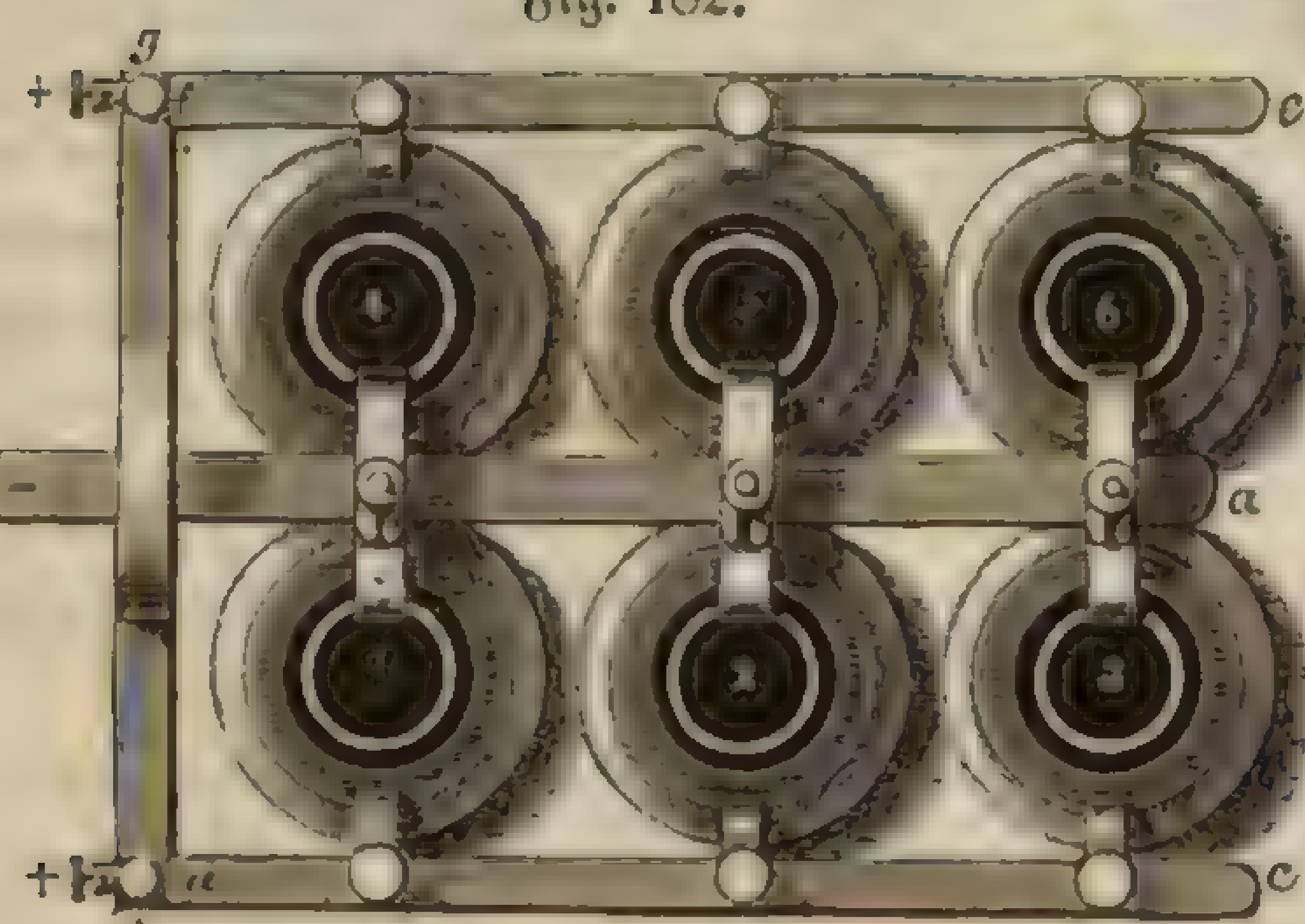


Fig 183.



Der Kupferstreifen *e f* ist endlich mit *c d* durch einen Kupferstreifen *g h* verbunden, welcher in der Mitte in die Höhe gebogen ist, damit er *a b* nicht berührt.

Die Bereitung der Kohlencylinder kann hier nicht näher besprochen werden.

Das elektronegative Metall kann auch durch Eisen ersetzt werden, wenn dasselbe in concentrirte Salpetersäure eingetaucht wird. Die Salpetersäure macht das Eisen passiv, d. h. das Eisen überzieht sich unter dem Einfluß der Salpetersäure, wie weiter unten gezeigt werden soll, mit einer stark elektronegativen Schicht, welche den weitern Angriff der Säure hindert. Eine Säule von Zink in verdünnter Schwefelsäure und von Eisen in concen-

trirter Salpetersäure wirkt fast eben so kräftig wie eine Grove'sche oder Bunsen'sche. Man kann auch das Zink durch Eisen ersetzen und so eine Säule aus einem Metall construiren, dessen Platten aber abwechselnd in verdünnter Schwefelsäure und concentrirter Salpetersäure stehen.

Die Salpetersäure, welche man zu den letztgenannten Apparaten verwenden will, muß sehr concentrirt seyn, weil schwächere Säure das Eisen stürmisch angreift, wobei eine bedeutende Entwickelung von Dämpfen salpetriger Säure stattfindet. Sobald dies eintritt, hört natürlich die elektromotorische Wirksamkeit des Apparates auf.

Wirkungen des galvanischen Stromes. Es sollen hier die Wirkun- 63
gen des galvanischen Stromes nur kurz aufgezählt werden, die nähere Erörterung derselben bleibt aber späteren Kapiteln vorbehalten, indem die Gesetze der Stromeffecte erst dann mit Erfolg abgehandelt werden können, wenn wir Mittel werden kennen gelernt haben, um die Stärke des Stromes zu messen und mit den verschiedenen Effecten zu vergleichen. Der Untersuchung der Gesetze der Stromstärke wird deshalb das nächste Kapitel gewidmet seyn.

Die wichtigsten Effecte, welche der galvanische Strom hervorbringt, sind nun in Kürze folgende.

Berührt man mit etwas angefeuchteten Fingern die beiden Pole einer Volta'schen Säule von 80 bis 100 Plattenpaaren, so empfindet man einen Schlag, der mit dem einer schwach geladenen Leidner Flasche Aehnlichkeit hat. Während die Säule durch den Körper geschlossen bleibt, übt der Strom keine merkliche Wirkung auf das Gefühl aus, einen zweiten Schlag aber empfindet man beim Oeffnen der Kette.

40 bis 50 Daniell'sche Becher oder 20 bis 30 Grove'sche oder Bunsen'sche bringen in dieser Beziehung den gleichen Effect hervor, wie eine Volta'sche Säule von 80 bis 100 Plattenpaaren.

Die physiologischen Wirkungen des Stromes waren gleich in den ersten Zeiten nach Entdeckung der Säule der Gegenstand eifriger Untersuchungen. Wir werden sie im neunten Kapitel näher betrachten.

Beim Oeffnen und Schließen der Kette beobachtet man an der Unterbrechungsstelle einen unter Umständen sehr lebhaften Funken.

Wenn man die Pole einer sehr starken Säule mit Kohlenspitzen versieht und diese in Berührung bringt, um sie dann wieder etwas von einander zu entfernen, so entsteht eine ungemein glänzende Lichterscheinung. Ein Flammenbogen bildet sich zwischen den Kohlenspitzen und da, wo er auf die Kohlen sich auffetzt, zeigt sich ein blendendes Licht.

Kräftige Ströme erwärmen die metallischen Leitungsdrähte, durch welche sie hindurchgehen; dünne Drähte werden unter diesen Umständen glühend und schmelzen ab.

Den galvanischen Licht- und Wärmephänomenen ist das dritte Kapitel gewidmet.

Befestigt man an den Polen der Säule Drähte, welche mit Platinplatten endigen, taucht man dann die beiden Platinplatten in Wasser, welches mit

etwas Schwefelsäure angesäuert ist, so daß die beiden Platten in einer Entfernung von $\frac{1}{2}$ bis 1 Zoll einander gegenüberstehen, ohne sich zu berühren, so geht der Strom durch das Wasser, welches unter diesen Umständen zerlegt wird, indem sich Wasserstoffgas an der einen, Sauerstoffgas an der andern Polplatte in Form von Glasbläschen ausscheidet.

In gleicher Weise wie das Wasser werden aber auch andere Flüssigkeiten durch den Strom chemisch zerlegt. Die chemischen Wirkungen des Stromes bilden den Gegenstand des vierten Kapitels.

Wenn man den Leitungsdraht, welcher die Pole einer Säule verbindet, über, neben oder unter einer Magnetnadel vorbeiführt, so wird dieselbe aus ihrer Gleichgewichtslage abgelenkt. Geht der Strom durch einen Draht, welcher mehrmals um ein Stück weiches Eisen herumgewickelt ist, so wird das Eisen in einen temporären Magneten verwandelt.

Die Gesetze des Elektromagnetismus sollen im fünften Kapitel näher erörtert werden.

Zweites Kapitel.

Gesetze der Stromstärke.

64 **Kraft der galvanischen Kette.** Das Agens, welches in den Phänomenen des Galvanismus wirkt, ist durchaus nichts anderes als die Elektricität, welche uns auch die Elektrisirmaschine und das Elektrophor liefert; nur ist hier die Elektricität in Bewegung, dort in Ruhe; hier beobachten wir Bewegungserscheinungen, dort die Phänomene des Drucks; hier haben wir eine reiche, dort eine verhältnißmäßig arme Quelle von Elektricität.

Ein Bild kann vielleicht das Sachverhältniß klarer machen. Wir können die Elektrisirmaschine einer Quelle vergleichen, welche nur spärlich Wasser giebt, aber hoch auf einem Berge liegt. Man kann das Wasser in einer engen Röhrenleitung sammeln, welche bis in das Thal hinabgeht und unten verschlossen ist. Die Wände dieser Röhrenleitung haben natürlich einen starken Druck auszuhalten, namentlich am unteren Ende, obgleich die Wassermasse in der Röhrenleitung nicht sehr groß ist. Am unteren Ende der Röhrenleitung befinde sich nun eine Oeffnung, die durch ein Ventil verschlossen ist, welches durch eine Feder oder durch ein Gewicht auf die Oeffnung gepreßt ist, wodurch sie verschlossen gehalten wird. Je mehr aber die Wassersäule in der Röhre steigt, desto stärker wird der Druck; endlich reicht der äußere Gegendruck nicht mehr hin, Widerstand zu leisten, das Ventil wird geöffnet und mit Gewalt strömt das Wasser hervor; dabei aber sinkt rasch das Niveau in der

Röhre; der äußere Druck gewinnt wieder das Uebergewicht und schließt die Oeffnung. Allmälig füllt sich die Röhre wieder und nach einiger Zeit ist das Wasser wieder so hoch gestiegen, daß es von Neuem das Ventil öffnet.

Bei der Elektrisirmaschine ist der Conductor das Gefäß, die Röhrenleitung, in welcher die Elektricität angehäuft wird. Nähert man dem einen Ende des Conductors einen Leiter, etwa den Knöchel eines Fingers, so wird hier die größte Anhäufung von Elektricität stattfinden; sie hat ein Bestreben, auf den Finger überzuspringen, allein die Luftschicht, welche sich zwischen dem Conductor und der Hand befindet, hindert diesen Uebergang, sie repräsentirt das Gewicht, welches das Ventil geschlossen hält. Erst wenn auf dem Conductor die Elektricität bis zu einem gewissen Grade angehäuft ist, wird der Widerstand überwunden, die Luftschicht durchbrochen, der Conductor wird theilweise entladen. Nähert man den Finger dem Conductor noch mehr, so wird der Widerstand, welcher sich dem Uebergange der Elektricität entgegensetzt, geringer, was einer Verringerung des Druckes entspricht, welcher das Ventil der Röhrenleitung geschlossen hält.

Hätte man die Oeffnung am unteren Ende der Röhrenleitung nicht durch das Ventil geschlossen, so würde das Wasser in dem Maaße ausgeflossen seyn, als es durch die Quelle geliefert wird, eine Anhäufung des Wassers und mit ihr jener Druck, den die Wände auszuhalten hatten, hört auf. Weil aber die Quelle nur wenig Wasser giebt, so wird es auch nur spärlich aus jener Oeffnung herausfließen; das Wasser, welches, in der Röhre angehäuft, so ungeheuren Druck ausüben könnte, wird nun, da es frei abfließen kann, kaum einen merklichen mechanischen Effect hervorbringen können.

Diesem freien Abfließen des Wassers einer armen Quelle entspricht der Fall, daß man den Conductor der Maschine mit dem Boden oder dem Reibzeug in leitende Verbindung setzt. Alle Spannung, alle Anhäufung der Elektricität auf den Conductor hört auf; der dünnste Draht ist schon im Stande, alle Elektricität vom Conductor vollständig abzuleiten, und diese frei abströmende Elektricität kann kaum Spuren der mächtigen Wirkungen hervorbringen, welche wir an galvanischen Apparaten beobachten.

Die galvanischen Apparate gleichen einer sehr reichen Quelle, die aber nur ein geringes Gefälle hat und deren Wasser in weiten Röhren frei abfließt. Die große Masse des strömenden Wassers übt nur einen geringen Druck auf die Röhrenwände aus, aber sie ist im Stande, mechanische Effecte hervorzubringen, Räder zu treiben u. s. w.

Wenn man eine große Leidner Flasche durch einen dünnen Draht entladet, so wird dieser, wie wir gesehen haben, glühend, weil eine ziemlich große Elektricitätsmenge auf einmal durch ihn hindurchgeht. Die Wirkung ist aber nur momentan; in einem Augenblick geht alle Elektricität, welche man durch längeres Drehen der Maschine in der Flasche angehäuft hatte, durch den dünnen Draht hindurch. Ganz anders verhält es sich, wenn man die beiden Pole eines großplattigen galvanischen Apparats durch einen dünnen kurzen Draht verbindet. Der Draht wird glühend, selbst wenn er bei weitem dicker ist, als der

Draht, den man durch den Entladungsschlag der Leidner Flasche in's Glühen bringt; das Glühen ist aber hier nicht momentan, es dauert fort, so lange der Strom durch den Draht hindurchgeht; in jedem Augenblicke liefert also der galvanische Apparat ungleich mehr Elektricität, als man durch längeres Drehen der Maschine in der Flasche anhäufen konnte.

Untersuchen wir nun, von welchen Umständen die Quantität der Elektricität abhängt, welche ein galvanischer Apparat zu liefern im Stande ist.

Wenn zwei Metalle sich nur in wenigen Punkten berühren, so hat man schon eine reiche Quelle von Elektricität. Wir haben aber gesehen, daß man keinen galvanischen Apparat ohne solche Körper bilden kann, die nicht in die Spannungsreihe gehören. Die galvanischen Ketten sind aus Metallen und Flüssigkeiten construirt. Flüssigkeiten aber sind keine guten Leiter der Elektricität, sie stehen in dieser Hinsicht bei weitem den Metallen nach. Die feuchten Schichten, welche sich zwischen den Metallplatten der Volta'schen Säule befinden, sind nicht im Stande, alle die Elektricität in einer gegebenen Zeit durchzulassen, welche in derselben Zeit durch die elektromotorische Kraft in der Säule möglicher Weise entwickelt werden könnte. Begreiflicher Weise hängt also die Quantität der Elektricität, welche in einem solchen Apparate circuliren kann, von dem Querschnitt der feuchten Schichten ab; der Querschnitt der feuchten Leiter hängt aber in der Volta'schen Säule von der Größe der Plattenpaare ab, man kann also die Quantität der Elektricität durch Vergrößerung der Platten vermehren. Für die Richtigkeit dieses Schlusses werden wir später experimentelle Beweise kennen lernen.

Mit der Vergrößerung der Platten der Volta'schen Säule wächst aber auch die Berührungsfläche zwischen Kupfer und Zink; daß dies jedoch nicht die Ursache der vermehrten Quantität des elektrischen Stromes ist, geht daraus hervor, daß die Fig. 169 abgebildeten Apparate, bei welchem der Querschnitt der flüssigen Schicht zwischen Kupfer und Zink sehr groß ist, auch eine bedeutende Quantität von Elektricität liefern, obgleich die beiden Metalle sich nur mit einer verhältnißmäßig kleinen Fläche berühren, nämlich da, wo der Kupferdraht an die Zinktafel angelöthet ist.

Alles also, was den Durchgang der Elektricität durch den flüssigen Leiter befördert, hat unmittelbar eine Vermehrung der elektrischen Quantität zur Folge. Je kürzer der Weg ist, welchen die E durch die Flüssigkeit zurückzulegen hat, je dünner also die flüssige Schicht zwischen den Metallplatten ist, desto mehr E kann im Apparat circuliren. Je mehr also die Flüssigkeit leitend ist, je näher sich die Metallplatten in der Flüssigkeit stehen, desto größer ist die elektrische Quantität des Stromes.

Untersuchen wir nun, welchen Einfluß die Zahl der Plattenpaare auf den galvanischen Strom hat. Denken wir uns eine Zinkplatte, auf diese eine feuchte Scheibe und auf diese wieder eine Kupferplatte gelegt, die beiden Metallplatten durch einen Kupferdraht verbunden, so haben wir eine geschlossene einfache galvanische Kette. Der Widerstand, welchen der Strom im feuchten Leiter zu überwinden hat, ist ungleich größer als der Widerstand, welchen der

Draht der Circulation des Stromes entgegensetzt; der Apparat kann weit mehr E liefern, als der feuchte Leiter durchläßt. Verdoppelt man nun die Zahl der Plattenpaare und verbindet man die oberste Kupferplatte wie vorher durch einen Kupferdraht mit der untersten Zinkplatte, so haben wir nun eine Kette von zwei Elementen. Es ist nun die Frage, ob in dieser Vorrichtung eine größere Quantität von Elektricität circuliren kann als in der oben betrachteten einfachen Kette?

In der einfachen Kette war die Quantität der circulirenden E durch den Widerstand des feuchten Leiters begränzt; dieser Widerstand ist nun durch die zweite feuchte Scheibe verdoppelt, dagegen ist aber auch die Spannung, welche den elektrischen Strom durchtreibt, noch einmal so groß geworden, es wird also in beiden Fällen gleichviel Elektricität circuliren. Die Vermehrung der Plattenpaare trägt bei vollkommener Schließung der Kette nichts zur Vermehrung der Quantität der circulirenden Elektricität bei; bei vollkommener Schließung ist es also ganz gleichgültig, ob man ein oder viele Plattenpaare anwendet. Bei unvollkommener Schließung aber, d. h. wenn ein schlechter Leiter in den Schließungsbogen eingeschaltet wird, muß man vielplattige Ketten anwenden, weil eine größere elektrische Tension nöthig ist, um den Durchgang durch den schlechten Leiter gleichsam zu erzwingen. Die Intensität des galvanischen Stromes ist der Anzahl der Plattenpaare proportional.

Das Ohm'sche Gesetz. Die eben angedeuteten Beziehungen der Stromstärke zu den Elementen der Kette sind durch Ohm auf streng mathematische Formen zurückgeführt worden. Erst durch das nach seinem Urheber genannte Ohm'sche Gesetz, dessen Grundsätze sogleich näher entwickelt werden sollen, ist den Untersuchungen über die Stromstärke eine sichere Basis gegeben worden. 65

Damit ein elektrischer Strom durch einen Leiter hindurchgehen könne, ist es durchaus nöthig, daß die Elektricität an verschiedenen Stellen des Leiters eine ungleiche Spannung habe. Berührt man z. B. den Conductor einer Elektrisirmaschine mit einem Drahte, so strömt die Elektricität nur deshalb durch denselben ab, weil die starke Spannung der Elektricität auf den Conductor dieselbe durch den Draht hindurchtreibt, weil also an dem einen Ende des Drahtes, da nämlich, wo er den Conductor berührt, eine stärkere Anhäufung von Elektricität stattfindet, als am anderen; verbände man zwei gleiche, gleich stark mit derselben Elektricität geladene Conductoren durch einen Draht, so könnte kein Strom entstehen.

Wenn die Volta'sche Säule isolirt ist, so befinden sich die entgegengesetzten Elektricitäten an den Polen in dem Zustande der Spannung, und dieser Zustand kann unmöglich ganz verschwinden, wenn die beiden Pole durch einen Leiter verbunden werden, denn es kann keine positive Elektricität von dem positiven Pole abströmen, wenn hier nicht eine größere Anhäufung dieser Elektricität stattfände; es ist eine gewisse Spannung der Elektricität, gleichsam ein gewisser Druck nöthig, damit eine Bewegung entstehe, damit die Leitungswiderstände in dem Leiter überwunden werden, durch welchen der Strom hindurchgehen soll.

Die Quantität der Elektricität, welche einen Leiter durchströmt, hängt also wesentlich von zwei Umständen ab, erstens von dem zu überwindenden Leitungswiderstand und zweitens von der Spannung, dem Druck, welcher die Elektricität durch den Leiter hindurchtreibt; es ist nun leicht einzusehen, daß die Quantität der Elektricität, welche durch einen gegebenen Leiter in einer gegebenen Zeit hindurchgeht, im umgekehrten Verhältniß des Leitungswiderstandes und im geraden Verhältniß der elektrischen Spannung stehen muß, welche den Strom durch den Leiter hindurchtreibt. Die Spannung ist hier gewissermaßen die beschleunigende Kraft.

Die Quantität der Elektricität, welche einen Leiter durchströmt, die Stromstärke läßt sich also ausdrücken durch

$$\frac{E}{L}$$

wenn E die elektrische Spannung, welche den Strom erzeugt, und L den zu überwindenden Leitungswiderstand bezeichnet.

Betrachten wir den Strom eines einfachen geschlossenen Volta'schen Elementes. Die Spannung, welche den Strom veranlaßt, sey e, der Leitungswiderstand im Rheemotor selbst sey λ, der im Schließungsdraht aber l, so ist also die Stromstärke

$$s = \frac{e}{\lambda + l}.$$

Hätte man n solcher Elemente zu einer Säule vereinigt, so würde die elektrische Spannung, welche den Strom in Bewegung setzt, $n\,e$ seyn, der Widerstand in der Säule aber ist in demselben Verhältniß gewachsen, denn jetzt ist nicht der Widerstand in einem, sondern in n Bechern oder Zellen zu überwinden, der Leitungswiderstand ist also jetzt $n\,\lambda$. Wenn nun der Schließungsbogen derselbe ist wie bei dem einfachen Plattenpaar, so hat man für die Stromstärke

$$S = \frac{n\,e}{n\,\lambda + l}.$$

Wäre l sehr klein im Vergleich zu λ, so würde der obige Werth von s sehr nahe $\frac{e}{\lambda}$, der Werth von S aber $\frac{n\,e}{n\,\lambda}$, also auch $= \frac{e}{\lambda}$ seyn; wenn also der Widerstand im Schließungsbogen klein ist im Vergleich zu dem Leitungswiderstand eines einzelnen Elementes, so gewährt die Vermehrung der Plattenpaare gar keinen Vortheil. Dahingegen hat eine Vermehrung der Zellen eine Vermehrung der Stromstärke zur Folge, wenn l sehr groß ist, d. h. wenn im Schließungsbogen ein bedeutender Widerstand zu überwinden ist.

Betrachten wir nun den Einfluß, welchen die Vergrößerung der Oberfläche eines einfachen Plattenpaares hat. Die Stromstärke für ein einziges Element wurde oben mit $s = \frac{e}{\lambda + l}$ bezeichnet; wenn nun die Oberfläche des Volta'schen Elements $n$mal so groß würde, ohne daß sonst etwas geändert wird, so hätte dies doch nur zur Folge, den Leitungswiderstand zwischen den Platten selbst $n$mal

kleiner zu machen, weil ja der Querschnitt der Flüssigkeit, durch welche der Strom hindurchgehen muß, $n$mal größer geworden ist; statt des Widerstandes λ hätte man also jetzt $\frac{\lambda}{n}$, die Stromstärke wird also seyn

$$S' = \frac{e}{\frac{\lambda}{n} + l},$$

oder was dasselbe ist

$$S' = \frac{n\,e}{\lambda + n\,l}.$$

Wäre l, d. h. der Leitungswiderstand im Schließungsbogen gleich Null, so wäre die Stromstärke der Oberfläche des elektrometrischen Elementes proportional; dies ist auch noch sehr nahe der Fall, wenn l nur sehr klein ist; eine Vergrößerung der Oberfläche bringt also dann eine Vermehrung der Stromstärke hervor, wenn der Leitungswiderstand im Schließungsbogen klein ist gegen den Widerstand in dem Rheomotor.

Die Werthe für die Leitungswiderstände in der Kette selbst und im Schließungsbogen müssen natürlich auf eine und dieselbe Einheit bezogen werden, wie wir dies sogleich sehen werden.

Das Ohm'sche Gesetz war schon im Jahre 1827 publicirt worden (die galvanische Kette, mathematisch behandelt von Dr. G. S. Ohm, Berlin, 1827); es fand jedoch erst viel später die allgemeine Würdigung, die es verdient; im Auslande wurde es erst sehr spät bekannt, und noch hat man namentlich in England nicht allgemein die hohe Bedeutung anerkannt, welche dieses Gesetz für die Elektricitätslehre hat. Das Ohm'sche Gesetz bietet uns fast überall den einzig sichern Anhaltspunkt zur Lösung der schwierigsten galvanischen Fragen, und die Mißachtung desselben, die wir noch bei manchen über Elektricität schreibenden Autoren Englands finden, rächt sich in ihren Schriften durch eine oft gränzenlose Verwirrung in Dingen, welche durch das Ohm'sche Gesetz schon längst die befriedigendste Lösung erfahren haben.

Auch Pouillet macht Anspruch auf die Entdeckung des Gesetzes der Stromstärke, welches er auf experimentellem Wege aufgefunden, während Ohm seine Resultate aus theoretischen Betrachtungen abgeleitet hat. Wenn man auch zugiebt, was sehr leicht möglich ist, daß beide Gelehrte ganz unabhängig von einander und auf ganz verschiedenen Wegen dasselbe Gesetz fanden, so muß man doch unbedingt Ohm die Priorität zugestehen, indem die Publication seines Werkes älter ist, als die der Pouillet'schen Versuche.

Was die experimentelle Bestätigung des Ohm'schen Gesetzes betrifft, so hatte man anfänglich mit großen Schwierigkeiten zu kämpfen, indem es einestheils an bequemen und sichern Mitteln zur Messung der Stromstärke, andererseits auch an Rheomotoren fehlte, welche hinlänglich kräftige und doch constante Ströme zu liefern im Stande waren. Wir übergehen deshalb auch die älteren

Versuche und wenden uns gleich zu den experimentellen Belegen, wie man sie mit vollkommenen Hülfsmitteln erhält.

Bevor wir zu den Versuchen selbst übergehen, durch welche die Richtigkeit des Ohm'schen Gesetzes bewiesen wird, müssen wir erst verschiedene Methoden zur Messung der Stromstärke kennen lernen.

66 **Das Voltameter.** Ohne noch die Gesetze der chemischen Action Volta'scher Ströme näher betrachtet zu haben, können wir doch einstweilen schon nach Faraday's Vorgang die elektrochemische Zersetzung des Wassers als Maaß für die Stromstärke betrachten. Um die Menge des in einer gewissen Zeit durch den Strom zersetzten Wassers zu ermitteln, ist es am einfachsten, die durch die Zersetzung gebildeten Gase in graduirten Röhren aufzufangen und ihr Volumen zu messen.

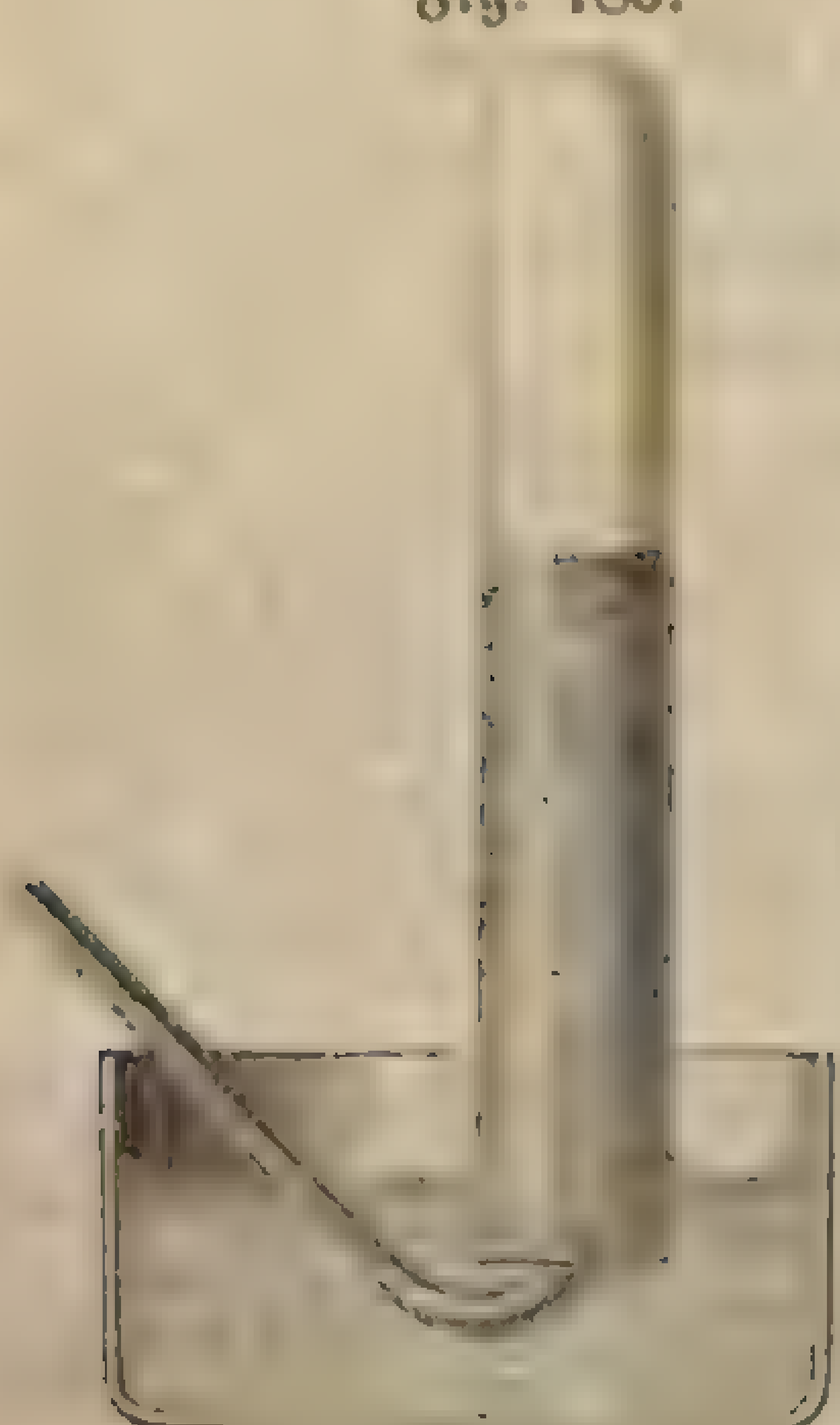
Um durch die Wasserzersetzung die Stromstärke zu messen, ist es nicht nöthig, das über jeder Polplatte aufsteigende Gas für sich aufzufangen, es genügt, die gemischten Gase zu sammeln.

Fig. 184.



Fig. 184 stellt einen Apparat dar, wie man ihn zur Wasserzersetzung anwenden kann, wenn man die entwickelten Gase gemischt auffangen will. Das Glasgefäß wird mit Wasser gefüllt, dem etwas Schwefelsäure zugesetzt ist. Durch den Kork, welcher das Gefäß schließt, gehen zwei Kupferdrähte luftdicht hindurch, an welchen unten zwei Platinplatten angelöthet sind, die sich im Wasser in einiger Entfernung gegenüberstehen. Der Theil der Kupferdrähte, welcher sich innerhalb des Gefäßes befindet, so wie die Löthstellen, müssen durch einen Siegellacküberzug vor der Berührung mit der sauren Flüssigkeit geschützt seyn.

Fig. 185.



Bringt man die aus dem Kork hervorragenden Enden der Kupferdrähte durch Zuleitungsdrähte mit den Polen der Säule in Verbindung, so geht der Strom durch das Wasser, die gebildeten Gase steigen auf und entweichen durch das gekrümmte Rohr, welches im Korke steckt.

Um auf gleichem Raume größere Flächen zur Wirkung zu bringen, können die Platinplatten zwei concentrische Cylinderflächen bilden, doch muß gehörig dafür gesorgt seyn, daß die beiden Platincylinder sich nirgends berühren.

Um die Gase aufzufangen, welche durch das gekrümmte Rohr entweichen, muß man das untere Ende desselben in ein Gefäß mit Wasser tauchen, wie man Fig. 185 sieht, und dann über die Mündung des gekrümmten Rohres eine mit Was-

ser gefüllte graduirte Röhre bringen. Die entweichenden Gase steigen als Blasen in den oberen Theil des Rohres, und das Volumen des in einer gegebenen Zeit hier gesammelten Gases kann leicht an der Theilung der Röhre abgelesen werden.

Faraday nannte solche Apparate, welche zur Messung der Stromstärke mittelst Wasserzersetzung dienen, »Voltameter«. Wir wollen diesen Namen beibehalten.

Wenn es auf sehr große Genauigkeit ankommt, muß man das Knallgas nicht über Wasser, sondern über Quecksilber auffangen.

Fig. 186 stellt eine von Mohr angegebene sehr zweckmäßige Form des Voltameters dar. *a* ist die Zersetzungszelle, in welche der Strom durch zwei Platinplatten geleitet wird. Die Flüssigkeit ist verdünnte Schwefelsäure. Das entwikkelte Gas wird in die Flasche *b* geleitet, die mit Wasser, Chlorcalciumlösung oder Quecksilber gefüllt seyn kann. Die nach zwei Seiten in einem rechten Winkel gebogene Glasröhre *c*, Fig. 187, dreht sich in einem Korke, der dicht in einem Tubulus am Boden der Flasche befestigt ist, mit Reibung um, so daß sie in jeder Lage stehen bleiben kann. Der Ausguß dieser Röhre läuft in dem punktirten Kreise *m*, und kann dadurch jede beliebige Höhe annehmen. Wenn dieser Ausguß auf gleicher Höhe mit dem Niveau der Flüssigkeit in der Flasche steht, so ist die Flasche zum Versuche bereit. Die senkrechte Röhre dient zum Erkennen, ob die Spannung der äußeren und inneren Luft gleich ist; in diesem Falle nämlich steht das Niveau der Flüssigkeit innerhalb dieser Röhre genau in der Ebene des Flüssigkeitsspiegels. Die Beobachtung dieses kleinen Punktes inmitten einer horizontalen Wasserfläche schließt jeden Fehler einer Parallaxe aus. Die Messung findet nun ganz leicht Statt. Man schließt die Kette und bemerkt den Stand der Uhr in diesem Momente. Hat die Wasserzersetzung eine bestimmte Zeit lang fortgedauert, so unterbricht man den Strom, bringt durch Beugen der Röhre *c* noch so viel Wasser

Fig. 186.

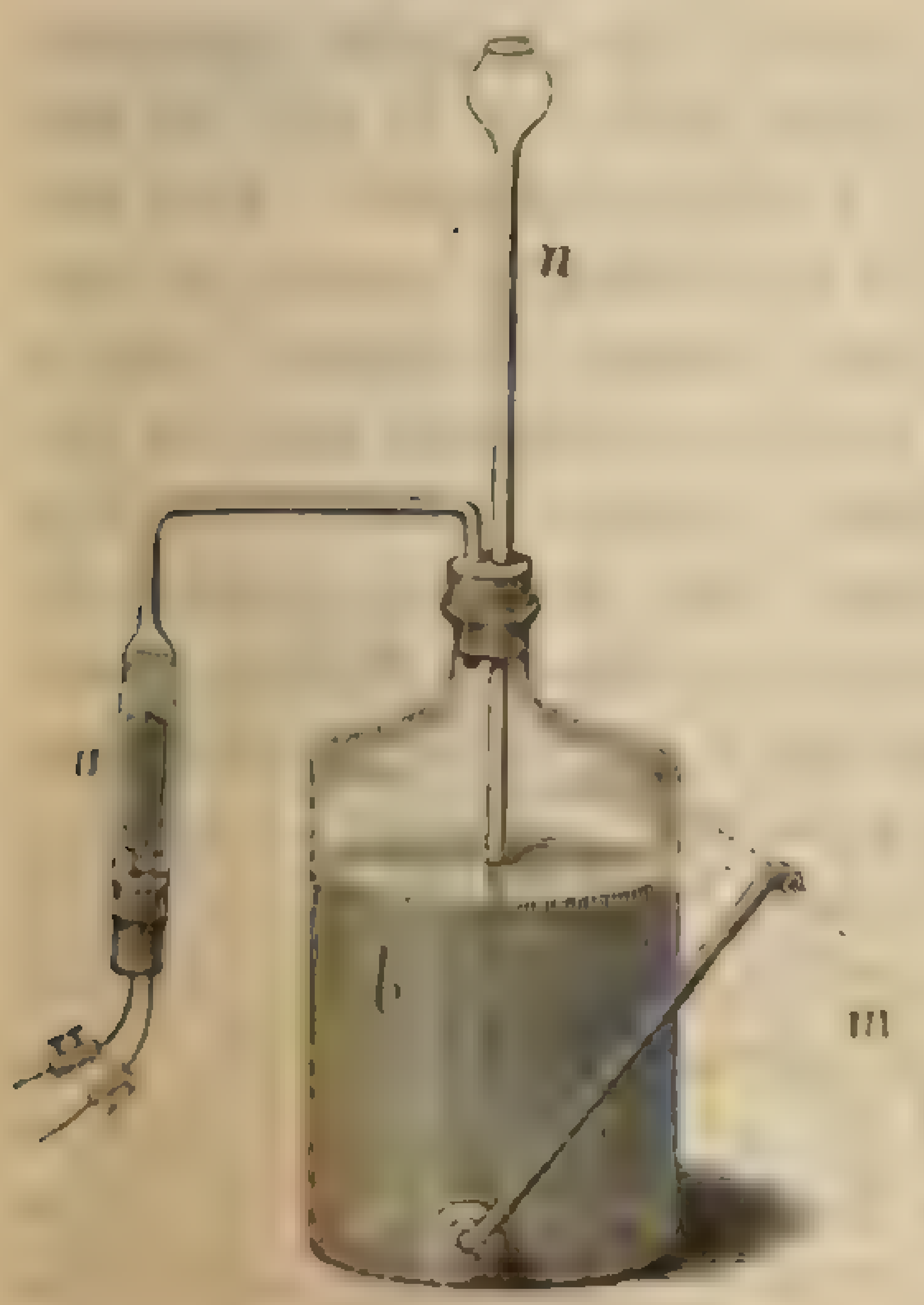
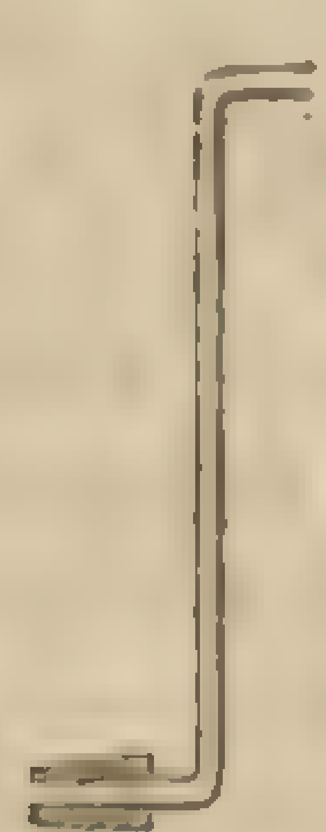


Fig. 187.



zum Ausfließen, daß die Spannung der Luft innen und außen gleich sey, und bestimmt nun die Menge des ausgeflossenen Wassers nach Volum oder Gewicht.

Um die gemessenen Gasvolumina vergleichbar zu machen, muß man sie stets auf gleichen Druck und gleiche Temperatur reduciren. Man reducirt die Gasvolumina auf eine Temperatur von 0^{0} und einen Druck von 760 Millimeter Quecksilber.

Wir wollen für die Zukunft nach Jacobi's Vorschlag als Einheit der Stromstärke einen Strom annehmen, welcher in 1 Minute 1 Kubikcentimeter Knallgas von der oben bezeichneten Dichtigkeit liefert.

Wenn man überhaupt alle Instrumente, welche zur Messung der Stromstärke dienen, Rheometer nennt, so muß man das Voltameter als elektrochemisches Rheometer bezeichnen.

67 **Elektromagnetische Rheometer.** Obgleich die galvanische Wasserzersetzung eine treffliche Einheit für die Stromstärke liefert, so ist doch das Voltameter nur in wenigen Fällen zur Messung derselben anwendbar. Das Voltameter giebt nicht die Stromstärke für einen bestimmten Augenblick an, sondern die mittlere Stromstärke während einer längeren Zeitdauer. Etwaige Schwankungen der Stromstärke während der Zeit, in welcher man das Gas auffängt, werden durch das Voltameter nicht angezeigt. Dann ist die Messung der Stromstärke mittelst des Voltameters nicht mit einer einfachen Ablesung abgethan, sondern sie setzt einen ziemlich umständlichen Versuch voraus. In vielen Fällen endlich, wo die elektromotorische Kraft des Rheomotors unbedeutend ist, man aber doch bei vollkommen metallischer Schließung eine bedeutende Stromstärke erhalten kann, ist die Messung derselben mittelst des Voltameters gar nicht möglich, weil der Leitungswiderstand, welcher durch Einschaltung dieses Instrumentes in den Schließungsbogen eingeführt wird, so bedeutend ist, daß dadurch die Stromstärke oft auf eine unmeßbare Kleinheit zurückgeführt wird; kurz man kann das Voltameter in den meisten Fällen schon deshalb nicht anwenden, weil durch dasselbe die Stromstärke außerordentlich geschwächt wird.

Man muß sich also noch nach andern Rheometern umsehen, und diese werden uns durch die magnetischen Wirkungen des Stromes geliefert.

Es ist bereits oben angeführt worden, daß, wenn man den galvanischen Strom mittelst eines Leitungsdrahtes in der Nähe einer Magnetnadel vorbeiführt, daß alsdann die Nadel aus ihrer durch den Erdmagnetismus bedingten Gleichgewichtslage abgelenkt wird. Dasselbe findet nun auch Statt, wenn man den Strom in einem Kreise um die Nadel herumführt. Diese Ablenkung der Magnetnadel durch einen kreisförmig um dieselbe herumgeführten Strom kann aber nun gleichfalls als ein Maaß für die Stromstärke benutzt werden.

Fig. 188 stellt einen Apparat dar, in welchem der Strom durch einen kreisförmigen Kupferstreifen um die Nadel herumgeleitet wird, welche sich in der Mitte dieses

Kreises befindet und sehr klein gegen seinen Durchmesser ist. Ohne vor der Hand die Einrichtung des Apparates näher zu betrachten, wollen wir untersuchen, welche Beziehung zwischen der Stromstärke und dem Ablenkungswinkel besteht, wenn die Ebene des Kupferrings mit dem magnetischen Meridian zusammenfällt.

Fig. 188.

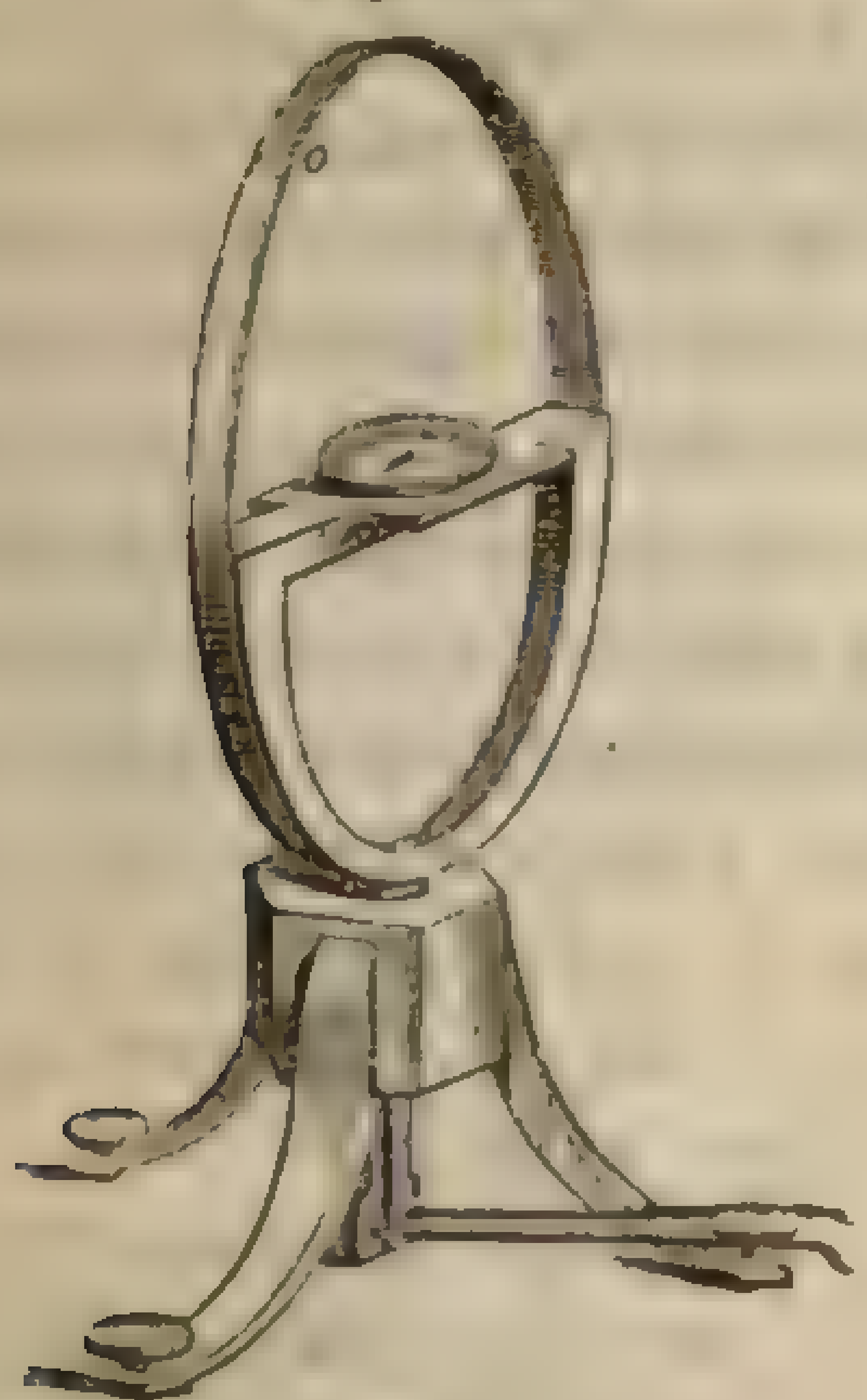
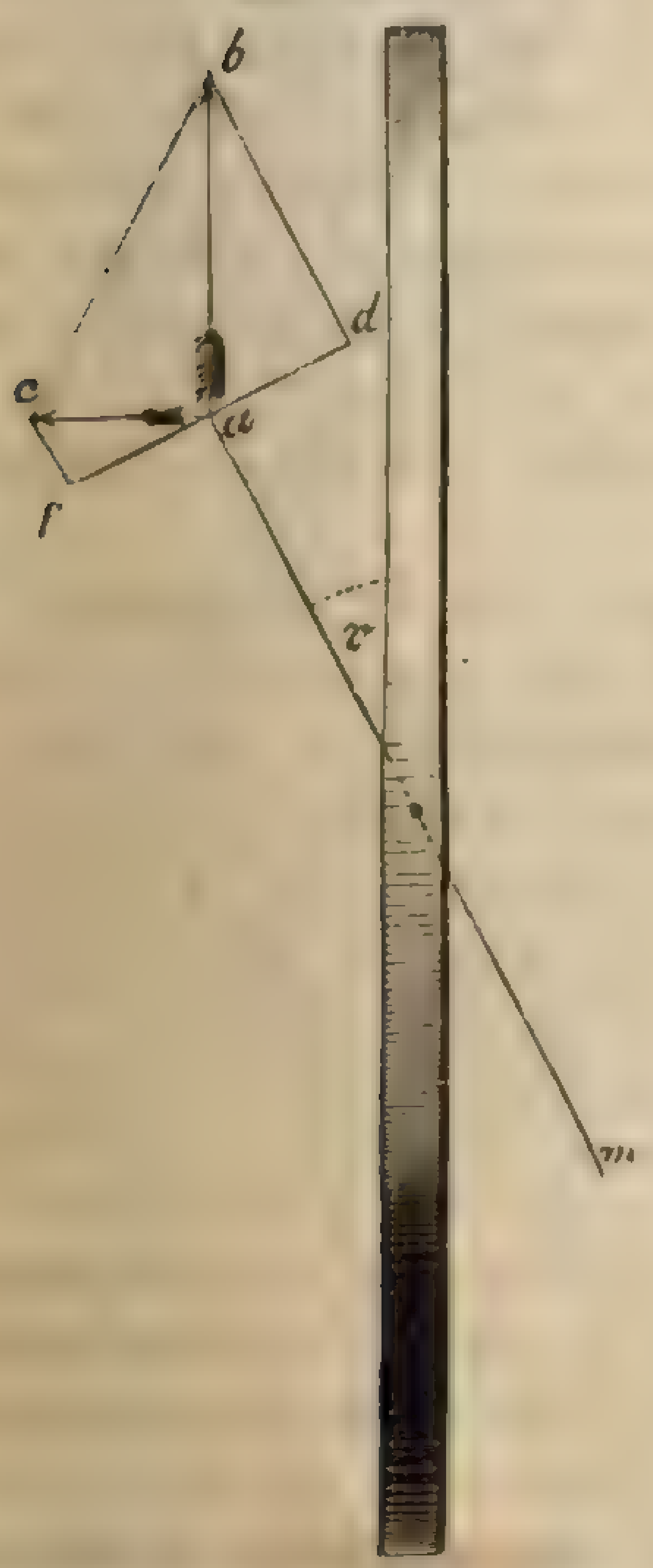


Fig. 189.



In Fig. 189 stelle der schattirte Streifen den Ring von oben gesehen, *a m* die durch den Strom abgelenkte Nadel dar, welche hier freilich etwas zu groß gezeichnet ist, um die Figur nicht undeutlich zu machen. Wenn die Nadel klein ist gegen den Durchmesser des Kreises, so ist die Spitze der abgelenkten Nadel nicht merklich weiter vom Kupferring entfernt, als wenn sie gar nicht abgelenkt wäre, man kann also diese Zunahme der Entfernung ganz unberücksichtigt lassen.

Es greifen nun aber an der Spitze der Nadel zwei Kräfte an; die magnetische Erdkraft *a b*, in der Richtung des Meridians wirkend, strebt die Nadel in die Ebene des Ringes zurückzuführen, der Strom aber hat ein Bestreben, die Nadel rechtwinklig auf den magnetischen Meridian zu stellen, er wirkt in der Richtung *a c* auf die Spitze der Nadel. Die rechtwinklig auf die Richtung der Nadel wirkenden Seitenkräfte von *a b* und *a c* sind nun *a d* und *a f*, die Nadel wird in Ruhe seyn, wenn $ad = af$. Nun ist Winkel $caf =$ dem Ablenkungswinkel v der Nadel, weil *c a* auf dem magnetischen Meridian, *a f* auf der Nadel rechtwinklig steht, folglich ist $af = ac . cos. v$. Ferner ist auch der Winkel $a b d = v$, weil *a b* mit dem magnetischen Meridian und *b d* mit der Nadel parallel ist, und demnach ist $a d = a b \ sin. \ . v$; da aber für den Fall des Gleichgewichtes $a d = a f$, so ist $a c . cos. v = a b \ . sin. \ v$ oder $a c = a b \ . tang. \ v$, oder endlich

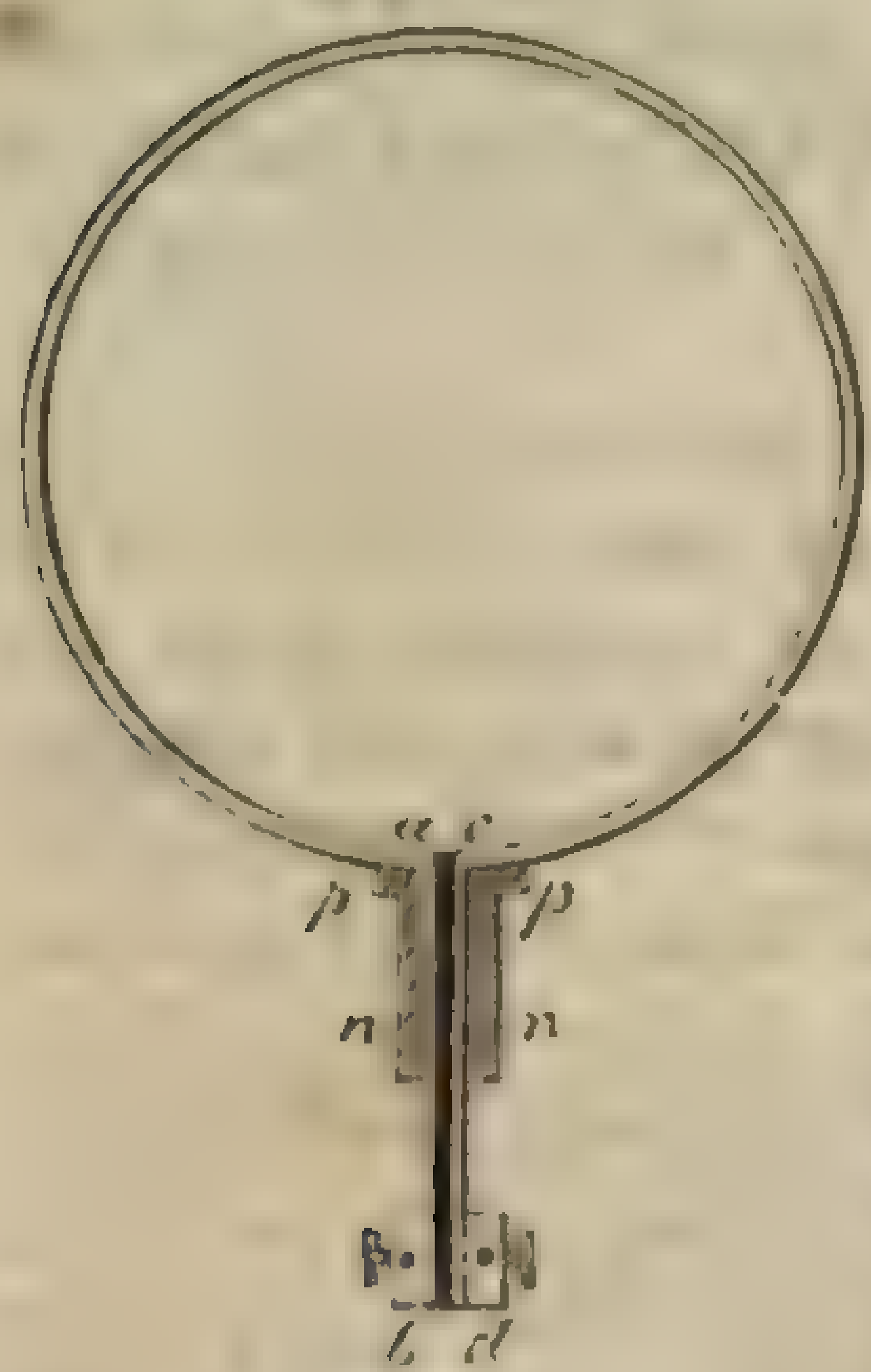
$$S = R. \ tang. \ v,$$

wenn man mit S die Stromkraft *a c*, mit R die magnetische Erdkraft *a b* be-

zeichnet. Bei diesem Instrumente ist also die Stromkraft der Tangente des Ablenkungswinkels proportional, daher der Name Tangentenbussole.

Die Einrichtung der Tangentenbussole ist aus Fig. 190 deutlicher zu ersehen.

Fig. 190.



Die beiden Enden *a b* und *c d* des ringförmig gebogenen Kupferstreifens laufen parallel neben einander her und sind durch einen isolirenden Streifen von Elfenbein oder trockenem Holze getrennt. Bei *b* und bei *d* sind Messingstücke angesetzt, in welche man die von den beiden Polen der Kette kommenden Leitungsdrähte einschraubt. Wenn der positive Strom bei *b* eintritt, so geht er von *b* nach *a*, von da im Ring herum nach *c*, von *c* nach *d*, um von da zum negativen Pol der Kette zu gehen.

Dicht unter *a c* gehen die parallelen Kupferstreifen sammt dem sie trennenden Holzstreifen durch einen Holzcylinder *n n* hindurch, in dem sie ganz feststecken, und welcher oben mit einer etwas breiteren Platte *p p* endigt. Dieser Holzcylinder *n n* paßt genau in eine Höhlung des Statifs, die Platte *p* verhindert ein zu tiefes Einsinken in diese Höhlung. Der Holzcylinder *n n* läßt sich nun sammt dem Kupferring mit sanfter Reibung um seine vertikale Axe umdrehen, wodurch es leicht wird, den Ring genau so zu richten, daß seine Ebene in den magnetischen Meridian fällt.

Die Magnetnadel kann etwa 1 bis $1\frac{1}{2}$ Zoll lang seyn und der Durchmesser des Ringes 8 bis 16 Zoll betragen.

Die Länge der Nadel darf höchstens $\frac{1}{4}$ oder $\frac{1}{5}$ des Ringdurchmessers betragen; je kleiner sie im Vergleich zu diesem ist, desto genauer ist die Stromkraft der Tangente des Ablenkungswinkels proportional. Je kleiner aber die Nadel wird, desto kleiner wird auch die Theilung, auf welcher man die Ablenkung abliest, wenn der Radius des getheilten Kreises der halben Länge der Nadel gleich ist. Um aber, wenn große Genauigkeit gefordert wird, eine kleine Nadel mit einem großen Theilkreise zu verbinden, befestigt man an die Nadel feine Glasfäden, wo möglich von dunkelfarbigem Glase, so daß sie in der Verlängerung der magnetischen Axe der Nadel liegen, und bis zu der Theilung hinreichen.

Eine sehr genaue Ablesung wird auch dadurch möglich, daß der Boden der Bussole ein Spiegel ist; das Auge ist nur dann in der zum Ablesen richtigen Stellung, wenn die Spitze der Nadel mit ihrem Spiegelbilde zusammenfällt.

Was die Richtung betrifft, nach welcher die Magnetnadel in der Tangentenbussole abgelenkt wird, so ist sie stets durch das folgende einfache Gesetz bestimmt: Das Südende der Nadel tritt stets nach der Seite der Ebene des stromleitenden Ringes hervor, von welcher aus ge-

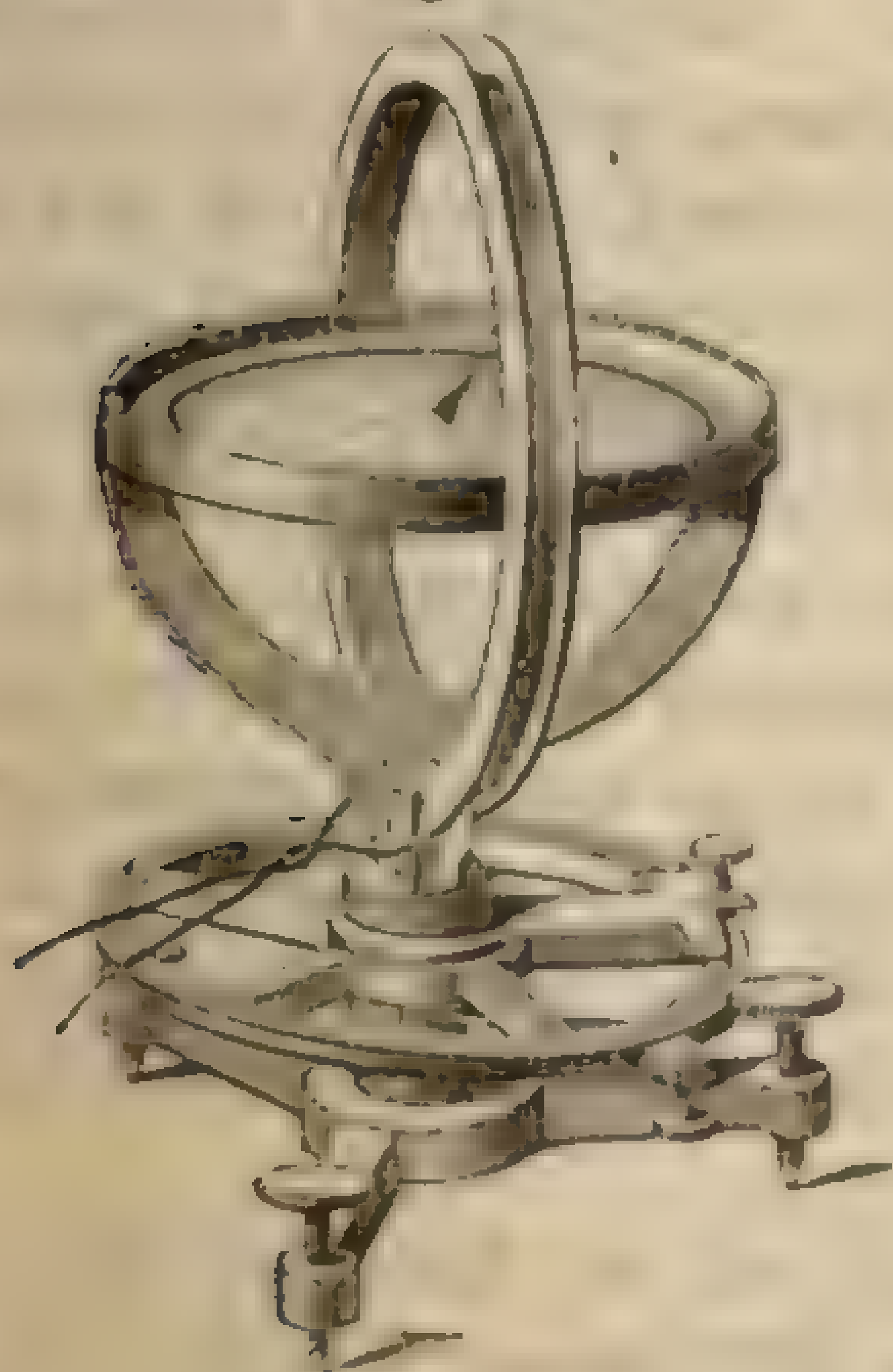
sehen der Strom in gleicher Richtung kreis't, wie der Zeiger einer Uhr.

Wir werden auf dieses Gesetz später noch ausführlicher zurückkommen.

Ist durch einen Strom im Ringe der Tangentenbussole die Nadel nach einer Seite hin abgelenkt worden, so wird mit dem Umkehren der Stromesrichtung im Ringe der Tangentenbussole auch die Nadel nach einer der ersteren entgegengesetzten Seite abgelenkt werden.

Fig. 192 stellt einen zweiten elektromagnetischen Rheometer, nämlich die Sinusbussole dar. Die Magnetnadel befindet sich in der Mitte eines horizontalen getheilten, und eines vertikalen Kreises; beide Kreise sind um eine vertikale Axe drehbar. Die Größe dieser Drehung wird auf einem unteren horizontalen Kreis abgelesen. Um den vertikalen Kreis ist der Leitungsdraht gewunden. Das Instrument wird so aufgestellt, daß die Ebene der Drahtwindungen in den magnetischen Meridian fällt, und in diesem Falle steht der Index des unteren horizontalen Kreises und gleichzeitig die Magnetnadel auf dem Nullpunkt ihrer Theilung. Wenn nun ein Strom durch die Windungen geht, wird die Nadel abgelenkt, der vertikale Kreis mit den Windungen wird aber nun auch in der Richtung dieser Ablenkung so weit gedreht, bis die Nadel wieder in der Ebene der Windungen liegt, bis sie also wieder auf ihren Nullpunkt zeigt. Die Größe der Ablenkung der Nadel aus dem magnetischen Meridian wird alsdann an dem unteren horizontalen Kreise abgelesen.

Fig. 192.



Gesetzt, man habe mit dem Strome einer hydro-elektrischen Kette eine Ablenkung von 30^0 erhalten, mit einer andern nur 20^0, so ist es leicht, das Verhältniß der Stärke beider Ströme zu berechnen; denn da in beiden Fällen der Strom ganz gleiche Lage gegen die Nadel hat, so verhalten sich die Stromstärken offenbar wie die Kräfte, die in beiden Fällen die Nadel in den magnetischen Meridian zurückzuführen streben. Diese Kraft ist aber im ersten Falle $R.\ sin.\ 30^0$, im zweiten $R.\ sin.\ 20^0$, die Stromstärken verhalten sich also wie die Sinus der Ablenkungswinkel, daher auch der Name Sinusbussole.

Es ist klar, daß die Stärke des Magnetismus der Nadel keinen Einfluß auf die Größe der Ablenkung hat, denn wenn die Nadel stärker magnetisch wäre, so würde die Einwirkung des Stromes und die des Erdmagnetismus auf die Nadel in gleichem Verhältniß zunehmen.

Für den Fig. 192 abgebildeten Apparat beträgt der Durchmesser des verti-

kalen Kreises 22 Centimeter. Man kann, je nachdem es die Umstände erfordern, eine oder mehrere Windungen des Drahtes um den vertikalen Kreis herum legen.

Poggendorff hat die Sinusbussole wesentlich verbessert, namentlich dadurch, daß er die Nadel an einem Coconfaden aufgehängt hat.

Die Sinusbussole ist zwar für schwache Ströme empfindlicher, dagegen aber auch bei Weitem nicht so bequem zum Gebrauch wie die Tangentenbussole, welche unter den bis jetzt bekannten Rheometern in den meisten Fällen das praktischste ist.

68 **Vergleichung der elektromagnetischen Rheometer mit dem Voltameter.** Der Leitungswiderstand der eben besprochenen elektromagnetischen Rheometer ist so gering, daß sie fast immer ohne merkliche Schwächung des Stromes in den Schließungsbogen eingeschaltet werden können. Dagegen sind ihre Angaben nicht direct mit einander vergleichbar. Die Ablenkung, welche ein durch den Ring einer Tangentenbussole geleiteter Strom hervorbringt, ändert sich mit dem Durchmesser dieses Ringes, sie variirt also von einem Instrument zum andern, wenn die Ringe derselben ungleiche Durchmesser haben. Ja ein und dasselbe Instrument wird an verschiedenen Orten bei gleicher Stromstärke nicht gleiche Ablenkung geben, weil von einem Orte der Erdoberfläche zum andern die Kraft sich ändert, mit welcher der Erdmagnetismus die Nadel in den magnetischen Meridian zurückzuziehen strebt, wenn sie aus demselben entfernt worden ist. Diesem Uebelstande kann aber auf eine höchst einfache Weise abgeholfen werden, indem man die Angaben der Bussole direct mit denen eines Voltameters vergleicht, wenn man die Bussole gleichsam auf Wasserzersetzung aicht.

Um die Ablenkungen einer Tangentenbussole mit der chemischen Wirkung des Stromes zu vergleichen, muß man in den Schließungsbogen einer Säule gleichzeitig die Tangentenbussole und das Voltameter einschalten und die durch den Strom in beiden Instrumenten hervorgebrachten Wirkungen mit einander vergleichen. Eine solche Versuchsreihe, bei welchen als Rheomotor eine aus Bunsen'schen Bechern gebildete Säule angewendet wurde, gab folgende Resultate:

Zahl der Erregungszellen.	Ablenkung.	Entwickelte Gasmengen in 3 Minuten.
12. . .	28,5	125 Kub.-Cent.
8. . .	24,8	106
6. . .	22,0	92,5
4. . .	18,75	78
3. . .	13,75	56
2. . .	5,9	23,7

Während eines Versuches, d. h. während der 3 Minuten, innerhalb welcher das Gas aufgefangen wurde, schwankte die Nadel nur sehr wenig; sie ging regelmäßig zurück, doch war der Rückgang in 3′ höchstens $\frac{1}{2}$ Grad; die Gradzahlen der obigen Tabelle sind stets das Mittel aus den zu Anfang und zu Ende der drei Minuten abgelesenen Winkel.

Der Quotient, welchen man erhält, wenn man die Tangente des Ablenkungswinkels in die entsprechende Gasmenge einer Minute dividirt, sollte eigentlich eine constante Größe seyn, welche angiebt, wie viel Gas in der Minute durch einen Strom entwickelt wird, der an der Tangentenbussole eine Ablenkung von 45° hervorbringt (weil $tang.\ 45^0 = 1$). Aus den verschiedenen der oben mitgetheilten Versuche ergiebt sich nun folgender Werth dieses Quotienten:

Nummer der Beobachtung.	Quotient.
1 . . .	76,7
2 . . .	76,5
3 . . .	76,2
4 . . .	76,6
5 . . .	76,3
6 . . .	76,6
Mittel . . .	76,5

Während dieser Versuche war die Temperatur im Zimmer 15° C. und der Barometerstand betrug 744 Millimeter. Als das Volumen des Gases an der graduirten Röhre abgelesen wurde, stand der Wasserspiegel in der Röhre ungefähr 10 Centimeter höher als Außen, was einer Druckhöhe von 7 Millimeter Quecksilber entspricht. Das Gas stand also unter einem Drucke von 737 Millimeter. Auf die Temperatur von 0° und einen Druck von 760 Millimeter reducirt, ist demnach die einer Ablenkung von 45° entsprechenden Gasmenge gleich 70 Kubikcentimeter.

Nach chemischem Maaß ist also die Stärke eines Stromes, welcher an jener Tangentenbussole eine Ablenkung von v^0 hervorbringt

$$S = 70\ .\ tang.\ v.$$

Gesetzt also z. B. ein Strom brächte an unserer Tangentenbussole eine Ablenkung von 54° hervor, so würde dieser Strom, wenn er in gleicher Stärke durch ein Voltameter ginge, eine Knallgasmenge gleich $70\ .\ tang.\ 54 = 70 \times 1{,}376 = 96{,}32$ Kubikcentimeter von 0° und einen Druck von 760 Millimeter geliefert haben.

Hat man nun einmal nach der eben erwähnten Methode den Reductionsfactor einer Tangentenbussole ermittelt, so kann man mittelst desselben jede an derselben gemachte Beobachtung leicht in chemischen Effect umsetzen oder, mit andern Worten, nach dem an der Tangentenbussole abgelesenen Winkel die Stromstärke in chemischem Maaße ausgedrückt angeben.

Es versteht sich von selbst, daß dieser Reductionsfactor immer nur für ein specielles Exemplar einer Tangentenbussole gelten kann, und daß er selbst für dieses specielle Instrument nur so lange gilt, als man die Versuche an demselben Orte anstellt. Brächte man z. B. die Bussole von Freiburg nach Marburg, so würde der Reductionsfactor einen geringeren Werth erhalten, weil die horizontale Intensität des Erdmagnetismus in Marburg geringer ist als in Freiburg.

In gleicher Weise, wie dies eben für die Tangentenbussole geschehen ist, kann man auch jedes andere elektromagnetische Rheometer, z. B. eine Sinusbussole, mit den Angaben des Voltameters vergleichen.

69 **Der Multiplicator.** Kurz nachdem Oersted die wichtige Entdeckung gemacht hatte, daß der elektrische Strom, an einer Magnetnadel vorbei oder um dieselbe herumgeführt, eine Ablenkung aus dem magnetischen Meridian bewirke, construirte gleichzeitig Poggendorf und Schweigger ein Instrument, welches, unter dem Multiplicator oder Galvanometer bekannt, den Zweck hat, schwache galvanische Ströme dadurch merklich zu machen, daß sie durch eine große Anzahl von Drahtwindungen vielmal um die Nadel herumgeführt werden, wie dies in Fig. 193 schematisch angedeutet ist.

Damit die Nadel möglichst frei beweglich sey, ist sie nicht auf eine Spitze gesetzt, sondern an einem Coconfaden aufgehängt.

Nobili hat den Multiplicator dadurch bedeutend empfindlicher gemacht,

Fig. 193.

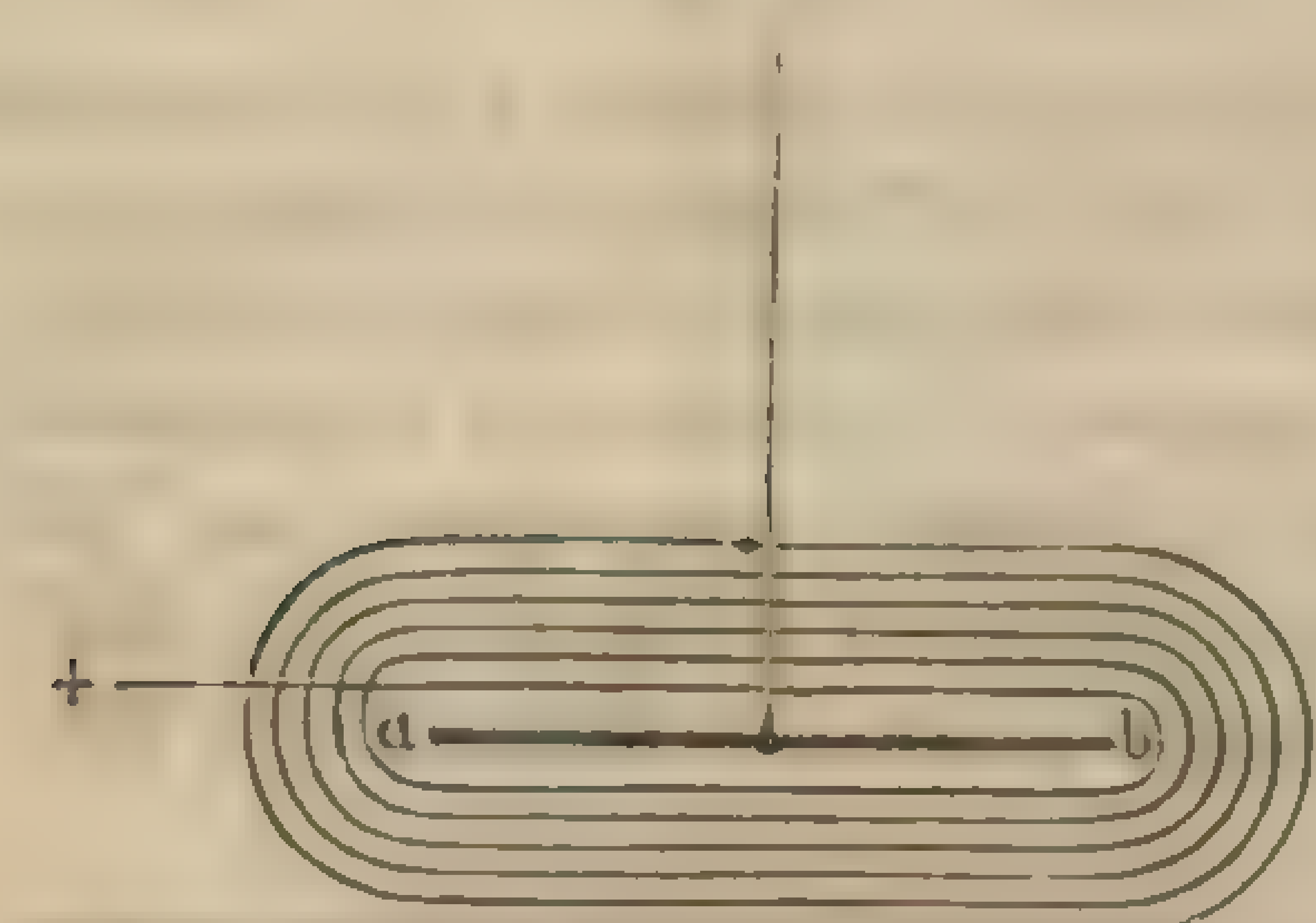
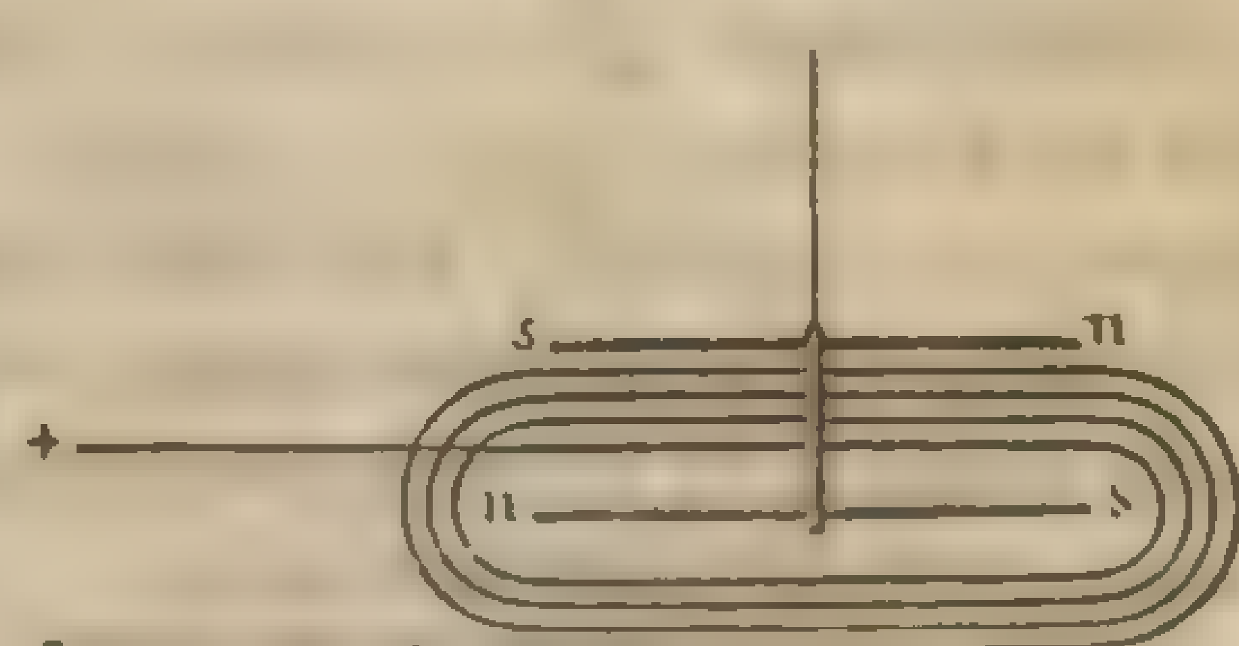


Fig. 194.



daß er statt einer einzigen Magnetnadel ein sogenanntes astatisches Nadelpaar in Anwendung brachte, wie dies Fig. 194 schematisch dargestellt ist. Es sind hier zwei Magnetnadeln so mit einander verbunden, daß sie einander parallel sind, daß aber der Nordpol der einen nach derselben Seite gerichtet ist, nach welcher der Südpol der andern schaut. Bei einem solchen System von zwei Nadeln ist die richtende Kraft des Erdmagnetismus außerordentlich gering,

denn sie ist nur die Differenz der Kräfte, mit welcher der Erdmagnetismus jede einzelne Nadel zu richten strebt. Wäre das magnetische Moment beider Nadeln vollkommen gleich, so würde die richtende Kraft, welche die Erde auf dies System ausübt, gleich Null seyn.

Während nun ein solches astatisches Nadelpaar nur mit sehr geringer Kraft durch den Erdmagnetismus gerichtet wird, summirt sich die Wirkung des Stromes auf beide Nadeln, denn indem die eine Nadel innerhalb der Windungen, die andere über denselben hängt, werden beide Nadeln nach gleicher Richtung durch den Strom abgelenkt.

Man hat verschiedene Methoden angewandt, um die Nadeln in der erwähnten gegenseitigen Lage mit einander zu verbinden. Eine der einfachsten und zweckmäßigsten Vorrichtungen der Art ist Fig. 195 dargestellt; die Nadeln sind in zwei Hülsen eingeschoben, welche aus dünnem Charnierdraht von Silber gemacht und durch ein Stäbchen von Silberdraht verbunden sind.

Der Multiplicatordraht wird auf ein Rähmchen von Holz aufgewunden. Damit nun aber der Strom nicht seitwärts von einer Windung zur anderen übergehen kann, sondern der Länge nach den ganzen Draht durchlaufen muß, ist derselbe mit Seide übersponnen.

Fig. 195.

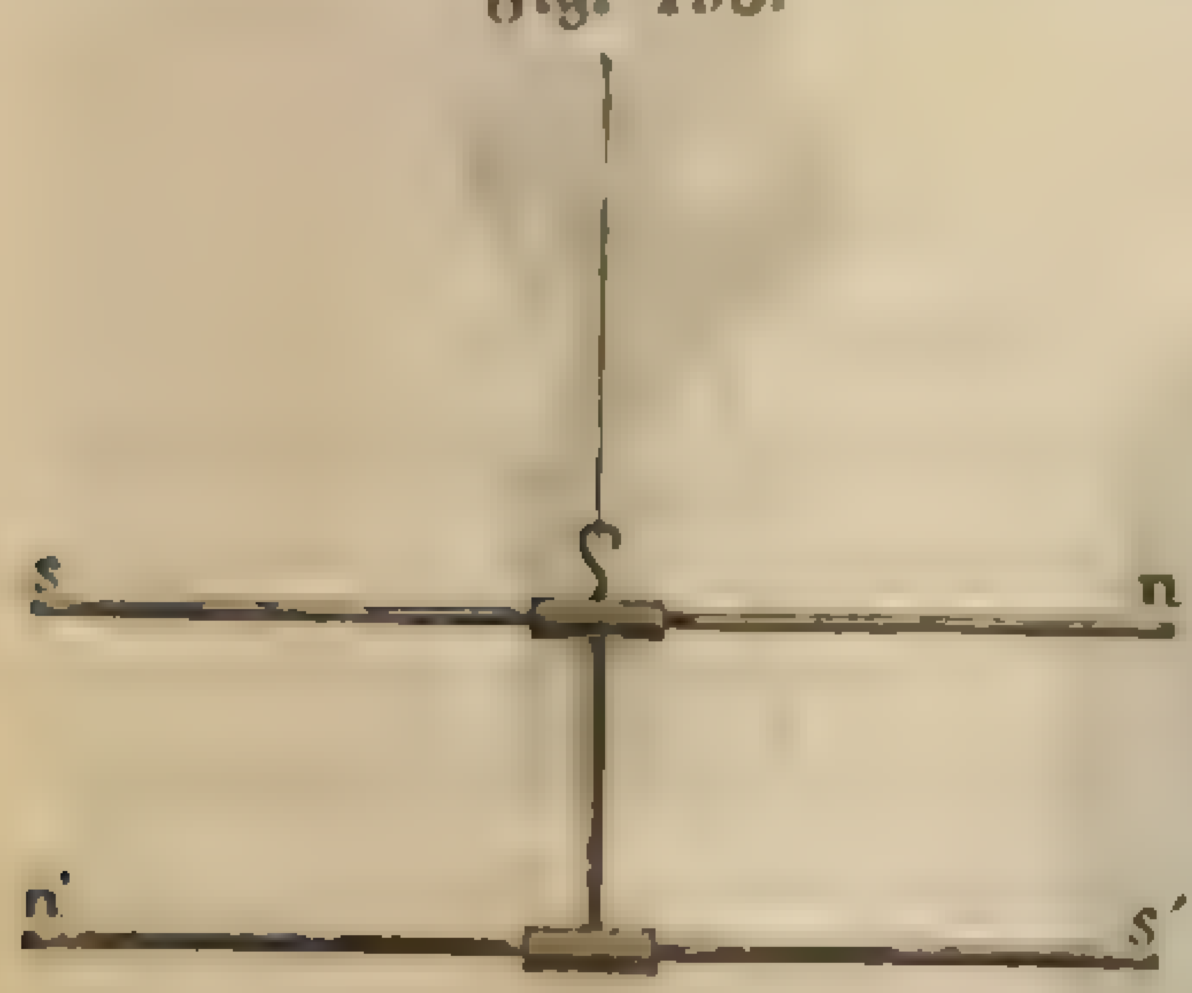


Fig. 196.

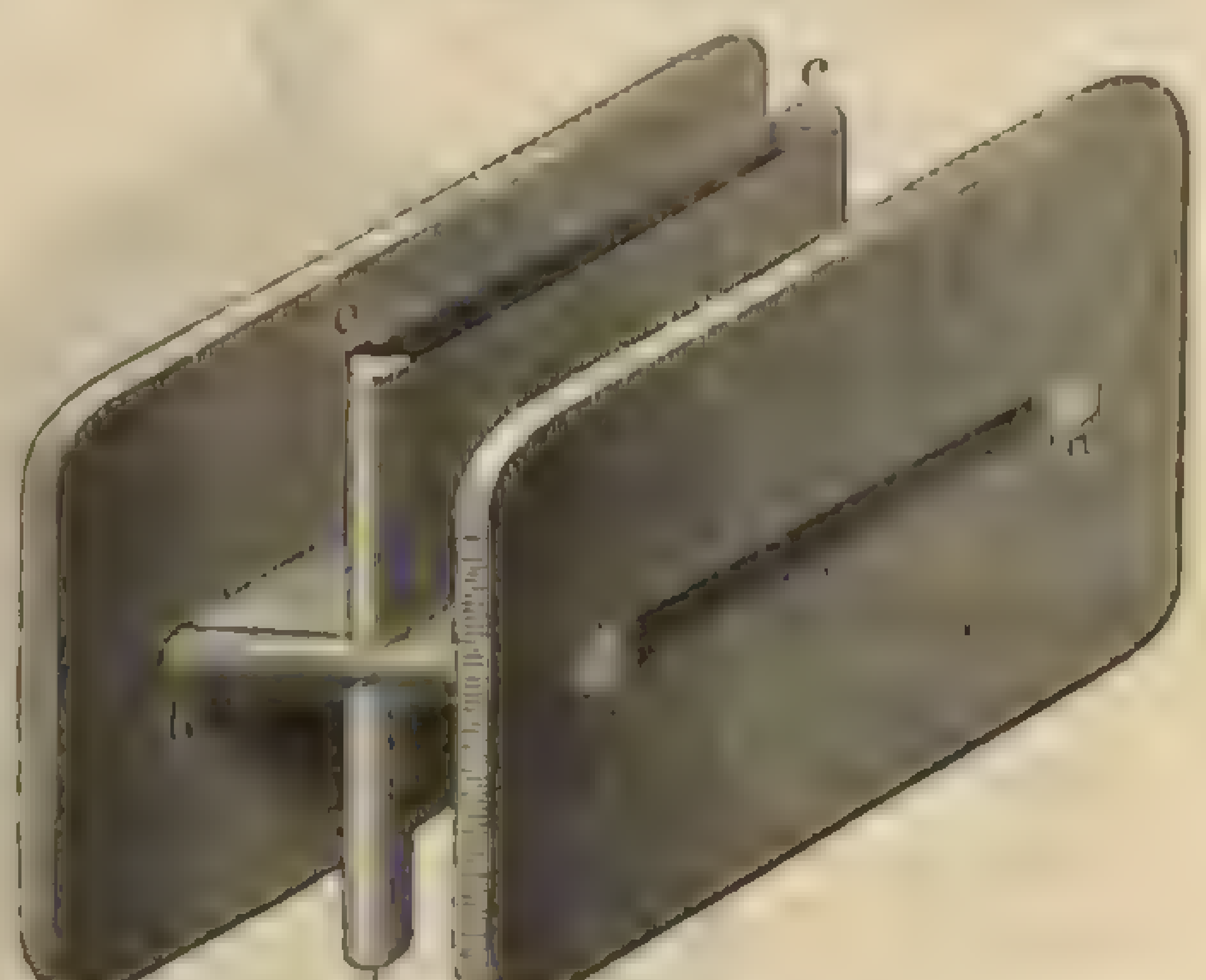


Fig. 196 stellt die Einrichtung eines Holzrähmchens dar, welches zur Aufnahme der Drahtwindungen dient. Zwei vertikal stehende Brettchen sind durch horizontal stehende Querstäbchen *a b* verbunden. Indem der Draht über diese Stäbchen gewickelt wird, bleibt der Spielraum für die untere Nadel frei. Um den Spalt frei zu halten, durch welchen die untere Nadel hinabgelassen wird, geht durch die Mitte eines jeden horizontalen Stäbchens *ab* ein vertikales *cd* hindurch.

Je nach dem Zwecke, zu welchem der Multiplicator gebraucht werden soll, hat er weniger, 50 bis 100 Windungen eines Drahtes von nahe 1 Millimeter Durchmesser, oder sehr viele, 3000 bis zu 25000 Windungen eines möglichst dünnen Drahtes. Im ersteren Falle brauchen natürlich die Seitenwände des Rähmchens nur ganz niedrig zu seyn, und man kann dagegen, dadurch daß man die Querstäbchen *a b* höher macht, den Spielraum für die untere Nadel

in vertikaler Richtung vergrößern. Gilt es aber, einen Multiplicator von vielen Windungen zu construiren, so muß man die Wände des Rahmens hoch und, um Raum zu ersparen, den Spielraum für die untere Nadel niedrig machen. In diesem Falle wird man wohlthun, den Spielraum für die untere Nadel von Oben und Unten und den vertikalen Spalt von beiden Seiten mit ganz dünnen Brettchen zu bedecken, um das Eindringen der Drahtwindungen in diese Räume oder das Hineinragen von Seidenfasern zu verhindern. Bei Multiplicatoren von wenig Windungen ist diese Vorsichtsmaßregel unnöthig.

Bei Multiplicatoren von vielen Windungen muß natürlich die Entfernung der beiden Nadeln größer seyn, als bei solchen von wenig Windungen.

Die Gesammteinrichtung des Multiplicators ist aus Fig. 197 zu ersehen, welche ein derartiges Instrument von vielen Windungen darstellt. Das astatische Nadelpaar hängt an einem einfachen Seidenfaden, einem sogenannten Coconfaden. Um es nach Belieben heben oder senken zu können dient eine Vorrichtung, deren oberes Ende in Fig. 197 b in vergrößertem Maaßstab dargestellt ist. Der Faden ist an einem Häkchen befestigt, welches das untere Ende eines 4seitigen Stäbchens bildet. Dieses Stäbchen paßt in eine gleichfalls

Fig. 197 a.



Fig. 197 b.



4seitige Oeffnung des Messingsäulchens, welches in der Mitte des Bügels sitzt, der die ganze Vorrichtung trägt; oben endet es mit einer Schraube, welche durch eine außen kugelförmige Mutter hindurchgeht. Diese Kugel ist durch einen sie umfassenden Ring an ihrer Stelle festgehalten, wenn man sie also umdreht, so muß nothwendig die Schraubenspindel und mit ihr das 4seitige Stäbchen sammt dem Faden gehoben oder gesenkt werden, je nach der Richtung, nach welcher man dreht. Zwischen der oberen Nadel und den Windungen befindet sich ein getheilter Kreis, auf welchem man die Ablenkungen ablesen kann. In der Richtung der Nulllinie, den Drahtwindungen parallel, ist aus dem etwa aus starkem Kartenpapiere verfertigten Theilkreise ein Spalt ausgeschnitten, der sich gerade über der von der Drahtwindung freigelassenen Spalte befindet.

Um zu verhindern, daß die Nadel durch zu starke Ströme ganz herumgeworfen werden kann, sind 90° rechts und links von der Nulllinie Stiftchen angebracht, gegen welche die Nadel anschlägt. Du Bois hat diese Stiftchen durch ganz dünne elastische Glimmerblättchen ersetzt.

Um den Luftzug abzuhalten, ist über das Ganze eine Glasglocke gestellt. Die Enden des Multiplicatordrahtes sind zu zwei Klemmschrauben geführt, welche nach außerhalb der Glasglocke stehen. In diesen Klemmschrauben werden die Drähte befestigt, welche den Strom zuführen, der den Multiplicatordraht durchlaufen soll.

Dies Alles befindet sich auf einem runden Brette, welches mittelst eines Zapfens, der in der Mitte einer zweiten Scheibe von noch größerem Durchmesser steckt, um seine vertikale Axe umgedreht werden kann, wodurch es möglich wird, das Ganze so zu drehen, daß die Ebene der Windungen der Gleichgewichtslage des Nadelpaares parallel wird, daß also die obere Nadel auf den Nullpunkt der Theilung zeigt.

In welchen Fällen Multiplicatoren mit vielen, in welchen Fällen solche mit wenigen Windungen anzuwenden sind, kann erst weiter unten erörtert werden.

Die Ablenkung der Nadeln aus ihrer Gleichgewichtslage wächst natürlich mit der Stromstärke, doch ist die Beziehung zwischen dem Ablenkungswinkel und der Stromstärke so complicirt, daß sie sich nicht allgemein aus theoretischen Betrachtungen, sondern nur für ein jedes specielle Instrument auf empirischem Wege ermitteln läßt. Poggendorff hat ein sehr sinnreiches Verfahren angegeben, um den quantitativen Werth der verschiedenen Ablenkungsgrade zu ermitteln und so das Instrument auch zu genaueren Messungen brauchbar zu machen. Im Allgemeinen aber wird der Multiplicator doch mehr als empfindliches Rheoskop und nur selten als Rheometer gebraucht.

Die Empfindlichkeit des Multiplicators wächst natürlich in dem Maaße, in welchem sich das Nadelpaar mehr und mehr der vollkommenen Astasie nähert. Die zunehmende Astasie hat nun aber einige Erscheinungen im Gefolge, ohne deren Kenntniß die Behandlung empfindlicher Multiplicatoren höchst schwierig wird. Wir wollen sie hier nur kurz anführen.

Zunächst sieht man, daß ein astatisches Nadelpaar sich nicht mehr in den magnetischen Meridian einstellt, sondern daß es bei wachsender Astasie einen

immer größeren Winkel mit demselben macht, um endlich nahezu rechtwinklig auf dem magnetischen Meridian zu stehen.

Dieser Umstand beeinträchtigt die Brauchbarkeit des Instrumentes durchaus nicht, man hat nur den Apparat um seine vertikale Axe so zu drehen, daß die obere Nadel auf dem Nullpunkt einsteht, daß also die Ebene der Windungen mit der Ebene der Nadeln parallel ist. Den Grund dieser Anfangs auffallenden Erscheinung hat schon Nobili richtig darin erkannt, daß die beiden Nadeln doch nie absolut genau in eine und dieselbe Vertikalebene fallen oder, mit anderen Worten, daß die Horizontalprojectionen der beiden Nadeln immer einen, wenn auch sehr kleinen, Winkel mit einander bilden. Was die nähere Erörterung dieses Gegenstandes betrifft, so muß ich auf meinen »Bericht über die neueren Fortschritte der Physik, Seite 782« verweisen.

Wenn die Kraft, mit welcher der Erdmagnetismus das Nadelpaar richtet, in Folge der vollkommneren Astasie sehr gering geworden ist, so fängt der unbedeutende fast unvermeidliche Eisengehalt des Kupferdrahtes, welcher zu den Windungen verwendet wurde, an, störend zu wirken, indem die Drahtmassen zu beiden Seiten des Spaltes das Nadelpaar nach beiden Seiten hin ziehen und so ein stabiles Gleichgewicht auf der Nulllinie unmöglich machen. In einem solchen Fall ist es nicht möglich, die Nadel auf der Nulllinie zum Einstehen zu bringen, sie weicht stets nach der einen oder andern Seite ab. — Hier ist es nun am zweckmäßigsten, die Astasie des Nadelpaares gerade so weit zu beschränken oder, mit anderen Worten, die richtende Kraft der Erde durch andere Mittel noch so weit zu unterstützen, daß das Nadelpaar eben in der Nulllinie zurückgehalten wird. Man erreicht dies durch ein zweckmäßig aufgestelltes Magnetstäbchen, den sogenannten Berichtigungsstab, über dessen Anwendung man gleichfalls in dem oben angeführten »Berichte u. s. w.« Näheres findet.

Ueber die Construction und die Behandlung empfindlicher Multiplicatoren, namentlich solcher von vielen Windungen, findet man in den »Untersuchungen über die thierische Elektricität« von Du Bois sehr gründliche und ausführliche Mittheilungen.

Jetzt, nachdem wir verschiedene Mittel zur Messung der Stromstärke kennen gelernt haben, wenden wir uns zur experimentellen Bestätigung des Ohm'schen Gesetzes.

70 **Experimentelle Bestätigung des Ohm'schen Gesetzes.** Nehmen wir z. B. zu den Versuchen über diesen Gegenstand ein constantes Zinkkupferelement. Man könnte dazu eben so gut irgend einen andern constanten Rheomotor nehmen.

Um zu bestimmen, nach welchem Gesetze die Stromstärke abnimmt, wenn der Schließungsbogen verlängert wird, läßt man zuerst den Strom unmittelbar durch die Tangentenbussole gehen, dann aber schaltet man der Reihe nach gleich dicke Drahtstücke von 5, 10, 40, 70 und 100 Meter Länge ein. Um die längeren Drähte bequem anwenden zu können, müssen sie mit Seide übersponnen und zusammengewunden seyn.

Eine Versuchsreihe der Art gab folgende Resultate:

Länge des eingeschalteten Kupferdrahtes.	Beobachtete Ablenkung.	Tangente des Ablenkungswinkels.
0 Meter.	62° 00′	1,880
5	40 20	0,849
10	28 30	0,543
40	9 45	0,172
70	6 00	0,105
100	4 15	0,074

Man sieht hier gar keine Regelmäßigkeit in der Abnahme, welche die Stromstärke erleidet, wenn der eingeschaltete Draht länger wird; wenn man aber bedenkt, daß dieser Draht nicht das einzige Hinderniß für den Strom ist, daß in dem elektromotorischen Apparate selbst und in den verschiedenen Theilen der Bussole, welche der Strom durchläuft, ein Leitungswiderstand überwunden werden muß, was wir als Widerstand des Elementes bezeichnen wollen, so ist klar, daß man den Widerstand des Elementes gleichsetzen kann dem Widerstand eines Kupferdrahtes von derselben Dicke wie der eingeschaltete und von der noch unbekannten Länge x; eigentlich also sind folgende die zusammengehörigen Längen der Kette und Ablenkungswinkel:

Länge der Kette.	Beobachtete Ablenkung.	Tangente des Ablenkungswinkels.
x	62° 00′	1,880
x + 5	40 20	0,849
x + 10	28 30	0,543
x + 40	9 45	0,172
x + 70	6 00	0,105
x + 100	4 15	0,074

Wenn sich nun die Stärke der hydroelektrischen Ströme wirklich umgekehrt verhält wie die Länge der Kette, so müssen sich die Zahlen der ersten Columne umgekehrt verhalten wie die Zahlen der letzten, es muß also seyn

$$x : x + 5 = 0{,}849 : 1{,}880$$

woraus sich ergiebt $x = 4{,}11$. Vergleicht man auf dieselbe Weise die erste Beobachtung mit allen folgenden, so muß man immer gleichen Werth für x erhalten, und in der That sind die auf diese Weise berechneten Werthe von x sehr nahe einander gleich; man findet nämlich außer dem schon berechneten 4,06, 4,03, 4,14 und 4,09 Meter. Das Mittel daraus ist 4,08.

Der Widerstand des Elementes ist also gleich dem Widerstand eines 4,08 Meter langen Kupferdrahtes von derselben Dicke wie der eingeschaltete. Legt man diese Länge zu Grunde, so kann man nach dem allgemeinen Gesetze, daß sich die Stärke des Stromes umgekehrt verhält wie die Länge der Kette, leicht die Ablenkungen berechnen, welche man hätte erhalten müssen, und diese mit den direkt beobachteten vergleichen, wie dies in der folgenden Tabelle geschehen ist.

Länge der Kette.	Berechnete Ablenkung.	Beobachtete Ablenkung.	Differenz.
4,08 Meter.	62° 00′	62° 00′	
9,08	40 18	40 20	+ 2′
14,08	28 41	28 30	— 11
44,08	9 56	9 45	— 11
74,08	5 57	6 00	+ 3
104,08	4 14	4 15	+ 1

Eine solche Uebereinstimmung zwischen den Resultaten der Beobachtung und denen, die man aus dem allgemeinen Gesetz abgeleitet hat, läßt keinen Zweifel mehr über die Richtigkeit dieses Gesetzes für hydroelektrische Ströme.

Sechs Becquerel'sche Elemente von der auf Seite 151 dargestellten Einrichtung wurden zu einer Säule verbunden. Zuvor aber war der Leitungswiderstand jedes einzelnen Elementes bestimmt worden; die folgende Tabelle enthält die Resultate dieser Untersuchung.

Nummer der Elemente	Drahtlängen, welche zu jedem Element hinzugefügt worden waren	Beobachtete Ablenkung	Tangente des Ablenkungswinkels	Widerstand des Elementes
1	0m	69° »'	2, 600	Meter
	5	43 20	0, 943	2, 85
	10	30 »	0, 577	2, 85
	40	11 »	0, 194	3, 20
			Mittel . . .	2, 97
2	0	66 30	2, 300	» »
	5	43 »	0, 933	3, 41
	10	29 40	0, 570	3, 35
	40	10 40	0, 488	3, 55
			Mittel . . .	3, 44
3	0	67 40	2, 434	» »
	5	42 30	0, 916	3, 02
	10	29 40	0, 570	3, 05
	40	10 20	0, 182	3, 23
			Mittel . . .	3, 10
4	0	67 »	2, 355	» »
	5	42 30	0, 909	3, 19
	10	29 40	0, 570	3, 19
	40	10 20	0, 482	3, 55
			Mittel . . .	3, 25
5	0	68 »	2, 475	» »
	5	43 20	0, 943	3, 08
	10	30 30	0, 589	3, 13
	40	11 »	0, 194	3, 40
			Mittel . . .	3, 21
6	0	64 »	2, 050	» »
	5	41 »	0, 869	3, 68
	10	28 40	0, 548	3, 64
	40	10 »	0, 176	3, 57
			Mittel . . .	3, 69

Die letzte Columne drückt aus, wie lang ein Draht von der zur Einschaltung angewandten Dicke seyn müßte, um denselben Leitungswiderstand hervorzubringen wie der, welcher zu überwinden ist, wenn der Rheomotor nur durch die Tangentenbussole geschlossen ist.

Die einzelnen Becher hatten also fast gleiche Stärke, nur der 6te war

etwas schwächer. Diese 6 Elemente, zu einer Säule verbunden, gaben einen Strom, welcher einen Platindraht von 1/4 Millimeter Dicke und mehr als 20 Centimeter Länge fortdauernd glühend erhalten konnte. Ließ man nun diesen Strom durch die Tangentenbussole gehen, so erhielt man bei Einschaltung verschiedener Längen von Kupferdraht folgende Resultate:

Länge des eingeschalteten Drahtes.	Beobachtete Ablenkung.	Tangente des Ablenkungswinkels.	Widerstände.
0 Meter	68° 30′	2,538	Meter
5	63 20	1,991	18,20
10	58 30	1,632	19,03
40	39 0	0,810	18,01
70	28 0	0,532	18,56
100	21 30	0,394	18,38
		Mittel . . .	18,43

Die 6 Elemente zusammen leisten also mit der Tangentenbussole einen Leitungswiderstand wie ein 18,43 Meter langes Stück des eingeschalteten Drahtes.

Aus diesen Versuchen geht hervor, daß die 6 Becher, nur durch die Tangentenbussole geschlossen, eine Ablenkung geben, welche nicht größer ist als diejenige, welche ein einziges nur durch die Tangentenbussole geschlossenes Element giebt. Schaltet man aber einen Draht ein, so daß der Widerstand im Schließungsbogen bedeutend wird, so wird durch Vermehrung der Elemente die Stromstärke vergrößert. Die Ablenkung ist 39° für 6, 10 bis 11° für ein Element, wenn ein 40 Meter langer Draht eingeschaltet wird.

Ferner zeigen diese Versuche, daß der Widerstand der Säule weit größer ist als der eines jeden einzelnen Elementes, daß übrigens auch hier die Stromstärke dem allgemeinen Gesetze unterworfen bleibt, daß sich nämlich die Stromstärke umgekehrt verhält wie die Gesammtlänge der zu durchlaufenden Kette (für jedes einzelne Element ist natürlich seine reducirte Länge in Rechnung zu bringen).

71 **Leitungswiderstand der Metalle.** Bei den auf Seite 177 angeführten Versuchen wurden Drahtstücke von verschiedener Länge in den Schließungsbogen der Kette eingeschaltet und dadurch das Verhältniß der Stromstärke zur Länge des Schließungsdrahtes ermittelt; jetzt kommt es darauf an zu untersuchen, wie sich der Leitungswiderstand der Drähte zu ihrem Durchmesser verhält. Wenn man einen in den Schließungsbogen der Säule eingeschalteten Draht mit einem andern aus demselben Material verfertigten vertauscht, welcher 2, 3, 4 u. s. w. mal so dick ist, so muß man ein 4, 9, 16 u. s. w. mal so langes Drahtstück anwenden, wenn der Stand der Tangentenbussole unverändert bleiben soll. Daraus folgt, daß zwei Drähte desselben Me-

talles gleichen Leitungswiderstand ausüben, wenn sich ihre Längen verhalten wie ihre Querschnitte.

Um den Leitungswiderstand verschiedener Metalle mit einander zu vergleichen, ist wohl keine Methode einfacher und sicherer, als den Strom eines hinlänglich kräftigen Elementes durch die Tangentenbussole zu leiten, Drähte verschiedener Metalle in den Schließungsbogen einzuschalten und die entsprechenden Ablenkungen zu beobachten.

Ganz außerordentlich wird die Bestimmung des Leitungswiderstandes durch ein Instrument erleichtert, welches unter dem Namen des Rheostaten bekannt ist; sein Zweck ist, nach Belieben den Leitungswiderstand im Schließungsbogen jeden Augenblick vermehren und vermindern zu können, ohne die Kette zu öffnen.

Solche Instrumente sind von Wheatstone, Jacobi und Petrina construirt worden; Wheatstone selbst hat dem Instrumente verschiedene Formen gegeben. Eine derselben ist Fig. 198 und Fig. 199 dargestellt. Fig. 199 zeigt das Instrument im Grundriß, Fig. 198 zeigt es im Aufriß, und zwar in 1/7 der natürlichen Größe. Auf einem Cylinder von trockenem Holz,

Fig. 198.

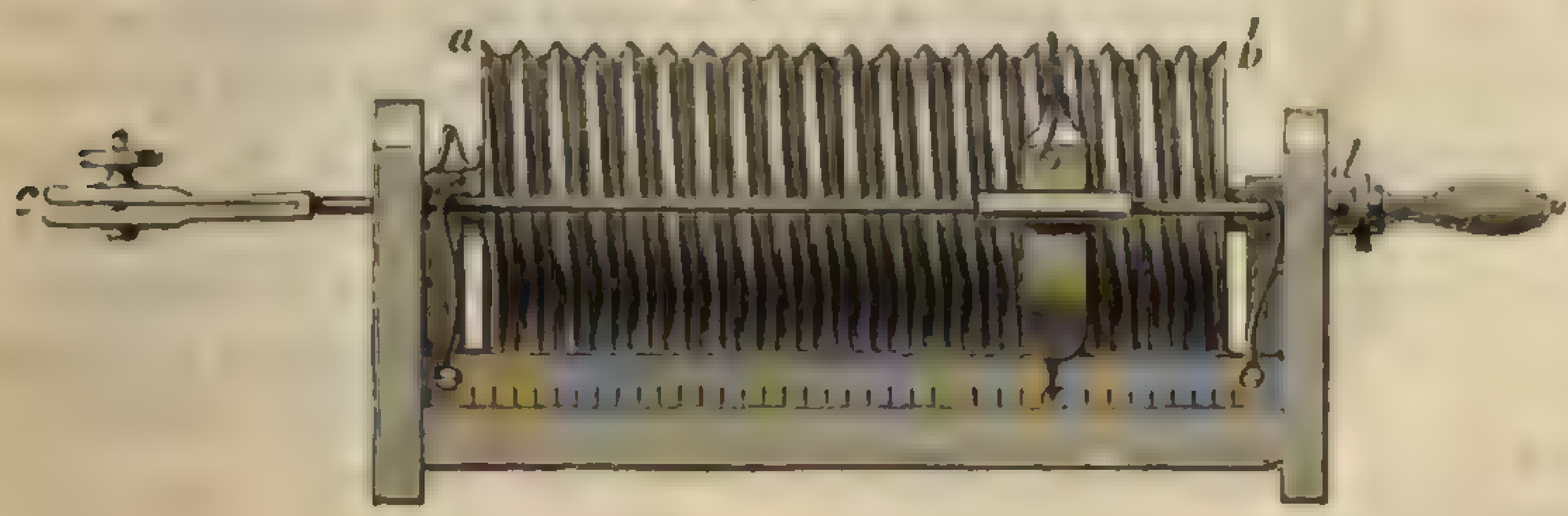


Fig. 199.



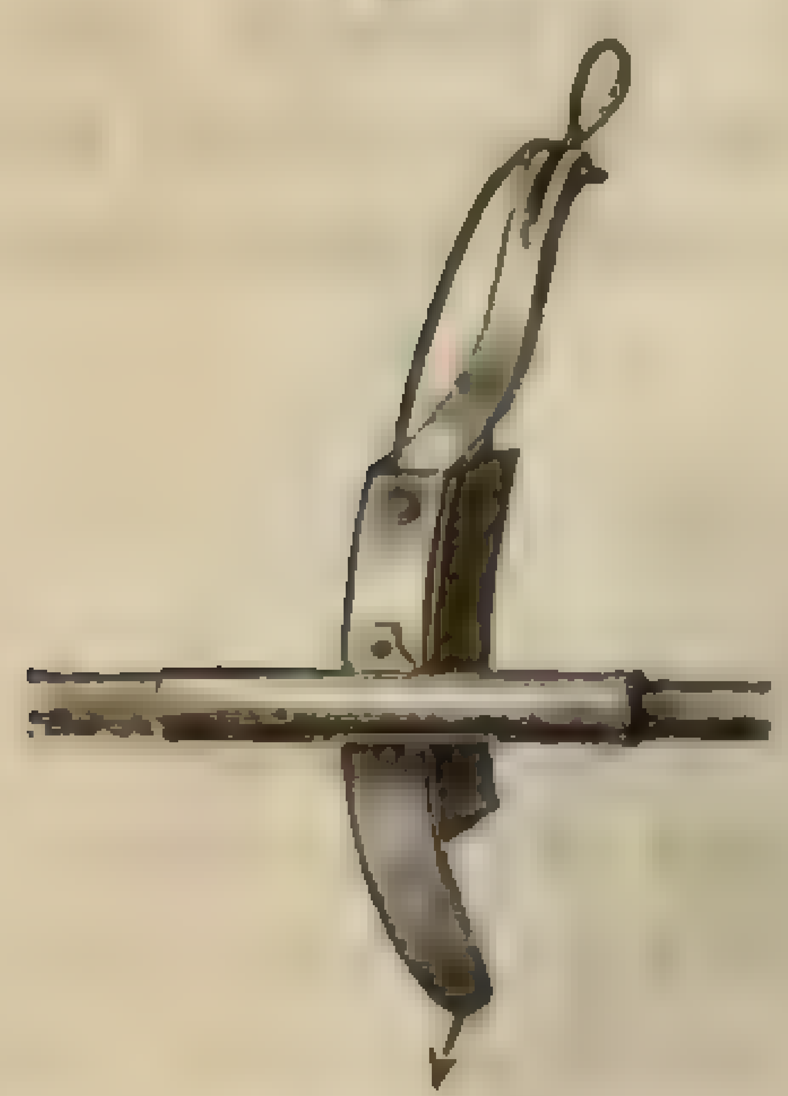
der um seine Axe mit Hülfe einer Kurbel umgedreht werden kann, ist ein Schraubengang eingeschnitten. (In unserer Figur ist derselbe verhältnißmäßig viel zu grob gezeichnet; auf die Länge des Cylinders gehen ungefähr 80 Umgänge.) In diesen Schraubengang ist ein Draht entweder von Messing oder von Neusilber gewunden. Neusilber bietet den Vortheil, daß man bei gleichem Leitungswiderstande einen dickern Draht wählen kann. Am einen Ende *a*

des Cylinders ist der Draht auf dem Holze befestigt; am andern Ende *b* geht er durch ein Loch im Holze hindurch nach der eisernen Umdrehungsaxe des Cylinders, auf welcher er befestigt ist.

Neben dem Holzcylinder befindet sich ein Metallstab *c d*, welcher bei *c* eine Schraubenzwinge zur Aufnahme von Drähten hat. Auf diesen Metallstab ist eine Metallhülse verschiebbar, an welcher ein Holzklötzchen befestigt ist, welches den Raum zwischen ihm und dem Holzcylinder ausfüllt, und in welches Rinnen geschnitten sind, die in die Schraubengängen des Holzcylinders passen, so daß bei Umdrehung des Cylinders die Hülse fortgeschoben wird, und zwar nach der einen oder andern Seite, je nachdem man rechts oder links dreht.

An der Hülse ist auch ein federnder Metallbogen befestigt, der einen gewundenen Metalldraht gegen den Draht auf den Holzcylinder drückt. Der Berührungspunkt ändert sich natürlich, wenn die Hülse mit allem, was daran ist, durch Umdrehung des Cylinders fortgeschoben wird. Die Einrichtung der Hülse sammt Metallbogen und Holzklötzchen ist Fig. 200 in größerem Maaßstabe dargestellt.

Fig. 200.



Wenn nun bei *c* der eine, bei *f* der andere Polardraht einer galvanischen Kette eingeschraubt wird, so läuft der Strom folgendermaßen durch den Apparat: Von *c* durch die Stange *c d* bis zur verschiebbaren Hülse, von dieser durch den Metallbogen und seinen Draht auf den Draht des Holzcylinders, von dem Berührungspunkte des Schlittens an durchläuft er dann alle Windungen nach der rechten bis *b*, geht auf die metallene Axe des Holzcylinders und auf dieser durch denselben der Länge nach hindurch. Auf der andern Seite drückt auf die Metallaxe eine Drahtfeder, welche den Strom auf eine Metallplatte *g* führt, von der er durch *f* austritt.

Es ist klar, daß der Strom bald mehr, bald weniger Windungen des Rheostaten zu durchlaufen hat, je nachdem der Schlitten mehr nach der linken oder rechten Seite geschoben ist.

Wenn der Schlitten am Ende *b* des Cylinders steht, so durchläuft der Strom keine der Windungen des Cylinders. Dreht man nun die Kurbel 1mal, 2mal, 3mal . . . 10mal u. s. w. um, so wird der Schlitten um 1, 2, 3 . . . 10 u. s. w. Schraubengänge fortgeschoben, der Strom durchläuft jetzt außer dem Wege, den er vorher schon zu durchlaufen hatte, noch 1, 2, 3 . . . 10 Windungen des Drahtes auf den Holzcylinder.

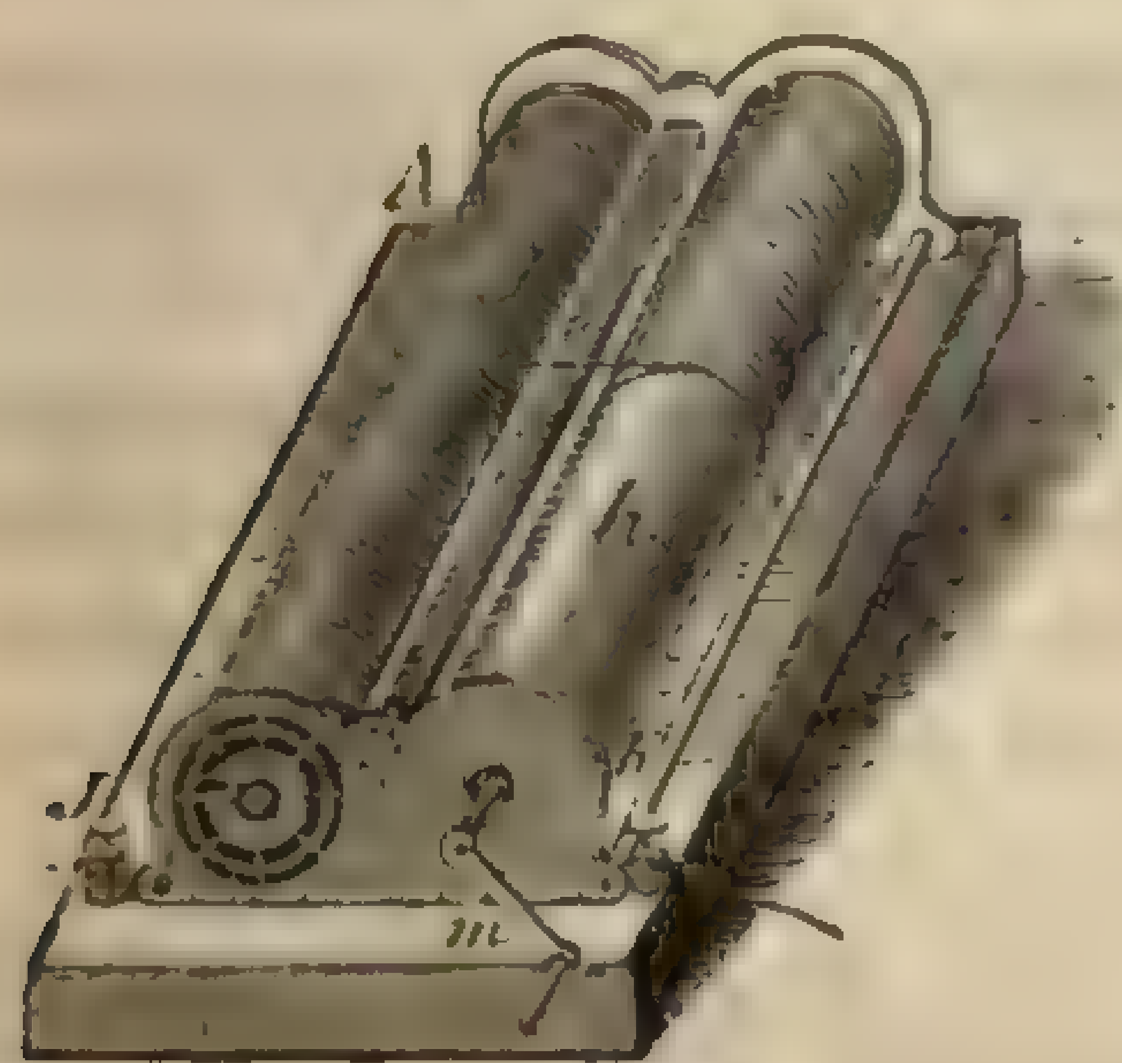
Um die Anzahl der Windungen besser zählen zu können, ist an dem Schlitten unten ein kleiner Pfeil angebracht, der auf einer Scala die Anzahl der Umwindungen zeigt, welche der Strom zu durchlaufen hat. Der Zeiger steht auf Null, wenn der Schlitten am äußersten rechten Ende des Holzcylinders steht.

Um auch noch die Unterabtheilungen der einzelnen Windungen bestimmen

zu können, ist am Ende der Umdrehungsaxe bei *n* ein Zeiger befestigt, welcher den Radius eines am Rande in 10 gleiche Theile getheilten Kreises bildet, der in unseren Figuren natürlich unsichtbar ist. Dieser Zeiger steht auf 0, wenn der Zeiger des Schlittens auf 0, 1, 2, 3 . . . 10 u. s. w. steht. Nehmen wir an, der Zeiger des Schlittens stehe zwischen 16 und 17, der Zeiger bei *n* stehe auf 6, so hat der Strom 16,6 Windungen zu durchlaufen.

Für größere Widerstände hat Wheatstone ein Rheostat von ganz dünnem Draht construirt, welches Fig. 201 dargestellt ist. Es ist *g* ein Cylinder von trockenem Holz, ungefähr 6″ lang und $1\frac{1}{2}$ Zoll im Durchmesser; *h* ist ein Cylinder von Messing, welcher dieselben Dimensionen hat. Die Axen beider Cylinder sind einander parallel. Auf dem Holzcylinder ist ein Schraubengang eingeschnitten, und an einem seiner Enden (dem vorderen unserer Figur) trägt derselbe einen Messingring, an welchem das Ende eines langen und sehr dünnen Drahtes befestigt ist. Dieser wird auf den Holzcylinder so aufgewickelt, daß er die sämmtlichen Schraubengänge ausfüllt, und dann mit seinem andern Ende auf dem jenseitigen Ende des Messingscylinders befestigt. — Die zum Einschrauben von Drähten bestimmten Messingsäulchen *J* und *k*, sitzen auf Metallfedern, von denen die eine gegen das vordere Ende des Messingscylinders *h*, die andere gegen den Messingring des Holzcylinders drückt (in der Fig. sind die Federn nicht sichtbar). Die abnehmbare Kurbel *m* dient zum Drehen der Cylinder um ihre Axen. Steckt man sie auf den Cylinder *h* und dreht man nach der Rechten, so wird der Draht vom Holzcylinder ab und auf den Messingcylinder gewickelt; steckt man sie dagegen auf den Cylinder *g* und dreht nach der Rechten, so geschieht das Umgekehrte. Da die Windungen auf dem Holzcylinder isolirt und durch die Schraubengänge von einander entfernt gehalten werden, so durchläuft der Strom auf diesem Cylinder den Draht seiner ganzen Länge nach; allein auf dem Messingcylinder, wo die Windungen nicht isolirt sind, geht der Strom sogleich von dem Punkte, wo der Draht den Cylinder berührt, zu der Feder bei *k*. Der als Widerstand wirksame Theil der Drahtlänge ist also das veränderliche Stück, welches sich auf dem Holzcylinder befindet.

Fig. 201.



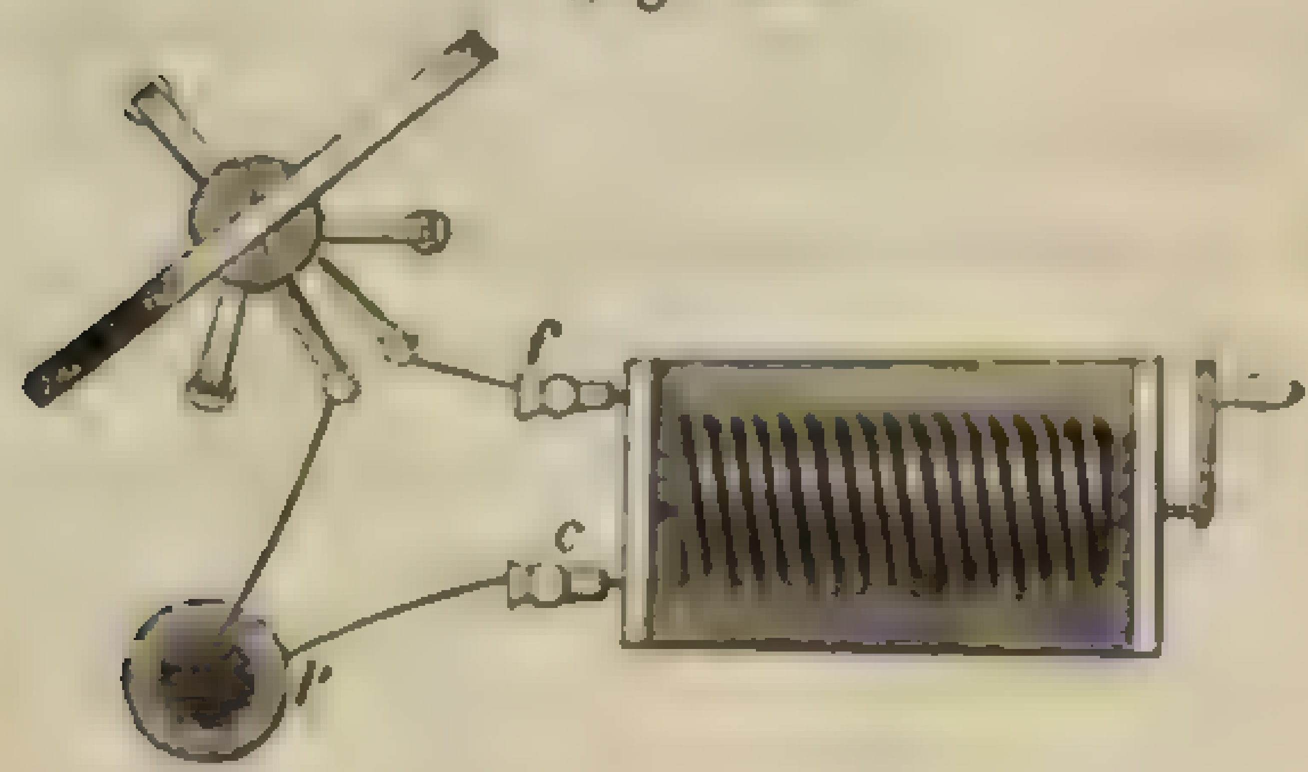
Von den Schraubengängen des Holzcylinders gehen 40 auf einen Zoll. Der Draht ist von Messing, und hat 0,01 Zoll im Durchmesser.

Zur Zählung der abgewickelten Windungen ist eine Scala zwischen den beiden Cylindern angebracht, und die Bruchtheile einer Windung bestimmen sich mittelst eines Zeigers, der an der Axe des einen Cylinders befestigt ist, und auf die Theilpunkte eines graduirten Kreises hinweis't.

Bei *c* sey der positive Pol der Kette eingeklemmt; von *f* führe ein Draht

zur Tangentenbussole, ein anderer von dieser zum negativen Pol der Kette, wie dies Fig. 202 angedeutet ist. Steht das Rheostat auf Null, so zeigt die

Fig. 202.



Bussole eine gewisse Ablenkung; wird nun das Rheostat gedreht, bis der Zeiger bei 10, 20, 30 u. s. w. steht, so hat nun der Strom außer dem anfänglichen Widerstande noch den von 10, 20, 30 Umwindungen zu überwinden, die Ablenkung der Nadel wird eine entsprechende Abnahme erfahren. Wenn man die einer jeden Stellung des Schlittens entsprechende Ablenkung notirt, so lassen sich mit dem Rheostaten auf die bequemste Weise die auf S. 177 entwickelten Gesetze nachweisen.

Um zu beweisen, daß sich die Leitungswiderstände der Drähte umgekehrt verhalten wie ihre Querschnitte, stelle man zunächst den Rheostaten auf Null. Die entsprechende Ablenkung sey $51\frac{1}{2}^0$.

Nun schalte man an irgend einer Stelle, etwa bei *c*, einen Kupferdraht, etwa von 5 Meter Länge und 0,26 Linie Durchmesser ein, so wird die Nadel etwa auf 37 zurückgehen. (Um solche Drähte bequem handhaben zu können, windet man sie am besten auf einen trockenen Holzcylinder, in welchem ein Schraubengewinde eingeschnitten ist.)

Nachdem man den Draht wieder entfernt und die Kette wieder geschlossen hat, stellt sich die Nadel wieder auf die ursprüngliche Stelle (in unserem Beispiel $51\frac{1}{2}^0$), und um zu machen, daß sie wieder auf 37^0 zurückgeht, muß man durch Drehung des Rheostaten den Schlitten um eine bestimmte Anzahl von Windungen, z. B. um 4,2 Windungen voranschieben. Es ist nun klar, daß der eingeschaltete Kupferdraht denselben Widerstand hervorbringt, wie 4,2 Windungen des Drahtes auf dem Rheostaten.

Wiederholt man nun denselben Versuch mit einem Kupferdraht, der eben so lang ist wie der eben betrachtete, aber von halb so großem Durchmesser, so wird man finden, daß dieser dünnere Kupferdraht einen eben so großen Widerstand ausübt, wie $16\frac{3}{4}$ Windungen des Drahtes auf dem Rheostat; der Widerstand des halb so dicken Kupferdrahtes ist also 4mal größer.

Um den Leitungswiderstand verschiedener Metalle zu vergleichen, kann man den Versuch in der Weise anordnen, wie es in folgendem Beispiel der Fall war.

Das Rheostat, auf 0 gestellt, gab die Bussole einen Ausschlag von $51\frac{1}{2}^0$. Es wurde nun der Reihe nach eingeschaltet ein Kupfer-, ein Eisen-, ein Messing- und ein Neusilberdraht. Alle waren 5 Meter lang und hatten einen Durchmesser von 0,26''' (alle waren durch dasselbe Loch gezogen). Die Nadel ging zurück beim

Kupferdraht auf	37^0
Messingdraht	19^0

Eisendraht	$12^3/_4{}^0$
Neusilberdraht	$6^3/_4{}^0$

Wurde nun die Kette wieder ohne Einschaltung von Drähten geschlossen, so mußte man durch Drehen des Rheostaten den Schlitten um

4,2	Windungen	voranschieben,	um	die	Nadel	auf	37^0	zu	bringen
16,6	»	»	»	»	»	»	19^0	»	»
29,5	»	»	»	»	»	»	$12^3/_4{}^0$	»	»
65	»	»	»	»	»	»	$6^3/_4{}^0$	»	»

Es ist also der Widerstand des

Kupferdrahtes	gleich	dem	von	4,2	Windungen	des	Rheostaten
Messingdrahtes	»	»	»	16,6	»	»	»
Eisendrahtes	»	»	»	29,5	»	»	»
Neusilberdrahtes	»	»	»	65	»	»	»

Nennt man die Zahl, welche angiebt, wie vielmal der Leitungswiderstand eines Metalldrahtes größer ist, als der Widerstand eines Kupferdrahtes von gleichen Dimensionen, den *specifischen Leitungswiderstand* des Metalles, so ergeben sich aus den oben mitgetheilten Messungen folgende Werthe für den specifischen Leitungswiderstand des

Messings	3,95
Eisens	7,02
Neusilbers	15,47

Nach *Pouille't*s Versuchen, die jedoch nach einer andern Methode angestellt worden waren, ist folgendes der specifische Leitungswiderstand der verschiedenen Metalle:

Silber	0,73
Gold	0,97
Kupfer	1,00
Zink	3,57 (*Becquerel*)
Platin	4,54
Eisen	5,88
Quecksilber	38,46

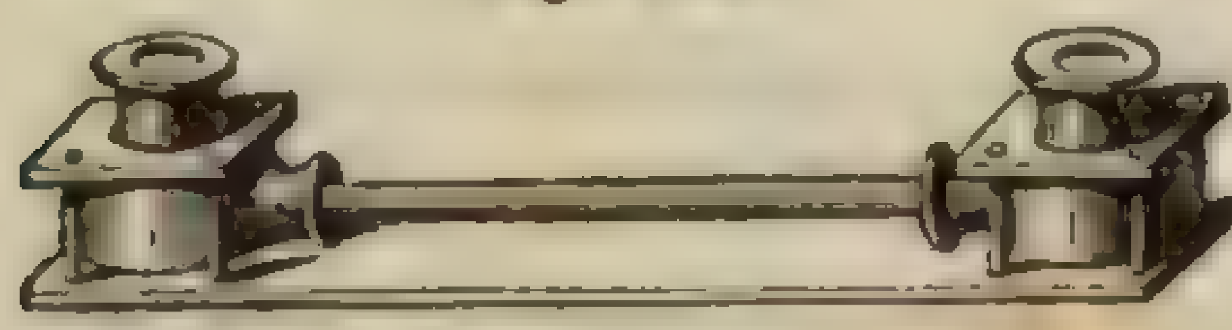
Rieß hat nach der auf S. 114 angedeuteten Methode den specifischen Leitungswiderstand der Metalle folgendermaßen bestimmt:

Silber	0,67
Kupfer	1,00
Messing	3,57
Eisen	5,88
Platin	6,66
Neusilber	11,33

Um das Leitungsvermögen des Quecksilbers zu bestimmen, wandte *Pouil*=

let statt des Drahtes eine vollkommen cylindrische, mit Quecksilber gefüllte Glasröhre an, deren Durchmesser man durch Wägung ermitteln kann.

Fig. 203.



Die Enden dieser Röhre, Fig. 203, stecken in zwei hinlänglich weiten Glasröhren.

Nehmen wir nach Jacobi's Vorschlag als Einheit des Leitungswiderstandes denjenigen Widerstand an, welchen 1 Meter Kupferdraht von 1 Millimeter Durchmesser dem Durchgange des Stromes entgegensetzt, so ist l der Widerstand eines Kupferdrahtes von gleichem Durchmesser, dessen Länge aber l Meter beträgt. Der Leitungswiderstand eines Kupferdrahtes von l Meter Länge, dessen Durchmesser d Millimeter beträgt, ist aber $\frac{l}{d^2}$. Bezeichnen wir den Leitungswiderstand eines Drahtes von der Länge l, dem Durchmesser d, welcher aus einem Metall gemacht ist, deren specifischer Leitungswiderstand gleich s ist, mit R, so ist

$$R = s.\frac{l}{d^2}.$$

So ist z. B., in jener Einheit ausgedrückt, der Widerstand eines Eisendrahtes von 12 Meter Länge und 0,5 Millimeter Durchmesser

$$R = 5,88 \frac{12}{0,25} = 282,$$

d. h. sein Leitungswiderstand ist so groß wie der von 282 Meter eines 1 Millimeter dicken Kupferdrahtes.

Um den Leitungswiderstand eines bestimmten Drahtstücks experimentell zu bestimmen, kann man folgendermaßen verfahren. In den Schließungsbogen eines constanten Bechers oder einer aus mehreren constanten Bechern zusammengesetzten Säule, welcher aus kurzen, möglichst dicken Kupferdrähten besteht, schalte man die Tangentenbussole ein und beobachte die entsprechende Ablenkung. Dann schalte man nach einander einmal einen Draht von bekanntem Widerstande und dann den Draht ein, dessen Widerstand ermittelt werden soll, und beobachte jedesmal die entsprechende Ablenkung. Aus diesen Beobachtungen läßt sich dann nach dem Ohm'schen Gesetze der Widerstand des fraglichen Drahtes ermitteln. Folgendes Beispiel mag das Gesagte erläutern.

In dem Schließungsbogen einer Säule von 6 Daniell'schen Bechern wurde die Tangentenbussole eingeschaltet und man beobachtete eine Ablenkung von 43,2°.

Nach dem Ohm'schen Gesetze haben wir also

$$tang.\ 43^0\ 12' = 0,939 = \frac{E}{r} \ldots\ldots\ 1)$$

wenn E die elektromotorische Kraft und r den Leitungswiderstand in der Säule bezeichnet.

Nun wurde ein Draht eingeschaltet, dessen Widerstand, durch obige Einheit gemessen, gleich 35 war; die Nadel ging auf 26,8° zurück, es ist also

$$tang.\ 26{,}8 = 0{,}505 = \frac{E}{r + 35} \ \ldots\ldots\ 2)$$

durch Combination der Gleichungen 1) und 2) läßt sich E und r numerisch bestimmen; es ergiebt sich

$$r = 40{,}7 \text{ und } E = 38{,}22.$$

Als darauf dieser Draht entfernt und statt dessen der zu bestimmende Draht eingeschaltet, wurde, stellte sich die Nadel bei 21,75° ein, man hat also, wenn x den Widerstand des fraglichen Drahtes bezeichnet,

$$tang.\ 21{,}75^0 = 0{,}399 = \frac{38{,}22}{40{,}7 + x} \ \ldots\ 3)$$

und daraus

$$x = 55$$

als Werth für den gesuchten Leitungswiderstand.

Wenn wir als Einheit des Leitungswiderstandes den Widerstand eines Kupferdrahtes der oben bezeichneten Dimensionen annehmen, so ist darunter stets ein ausgeglühter Draht von reinem Kupfer zu verstehen, wie es durch den galvanischen Strom aus einer Lösung von Kupfervitriol ausgeschieden wird. Der geringste Zusatz fremder Metalle vergrößert den Leitungswiderstand bedeutend. Ein Eisengehalt von kaum $^2/_{10}$ Procent steigert den Leitungswiderstand eines Kupferdrahtes um mehr als 25 Procent.

Daraus erklärt sich nun auch, warum verschiedene Beobachter den specifischen Leitungswiderstand desselben Metalles so sehr ungleich fanden; namentlich ist klar, daß der Leitungswiderstand von Metallcompositionen, wie Messing, Neusilber u. s. w., variiren muß, wenn die Zusammensetzung etwas geändert wird.

Der specifische Leitungswiderstand der Metalle ändert sich mit der Temperatur und zwar steigt er, wenn die Temperatur wächst. Es ist dies leicht durch den Versuch nachzuweisen, man braucht nur in den Schließungsbogen eines constanten Rheomotors, etwa eines Bunsen'schen Bechers, die Tangentenbussole und außerdem noch einen ungefähr 1 Meter langen und gegen 1 Millimeter dicken Platin- oder Eisendraht einzuschalten. Die Tangentenbussole wird eine bestimmte Ablenkung zeigen. Erwärmt man nun den Draht mittelst einer oder mehrerer Weingeistlampen, so geht die Nadel zurück, ein Beweis, daß der Widerstand des Drahtes zugenommen hat.

Bei einer Temperaturerhöhung von 0° auf 100° wächst der Leitungswiderstand

für Platin im Verhältniß von 1 zu 1,28,
» Eisen » » » 1 » 1,61,
» Kupfer » » » 1 » 1,37.

Um die Größe des Leitungswiderstandes der Metalldrähte für verschie-

dene Temperaturen zu ermitteln, kann man einen Apparat anwenden, wie er Fig. 204 abgebildet ist. Der wohl übersponnene Draht wird auf ein Glasröhrchen aufgewunden und mit einem Thermometer in ein mit Oel gefülltes Proberöhrchen getaucht. Man kann nun nach dem auf Seite 181 angegebenen Verfahren den Leitungswiderstand des Drahtes bei verschiedenen Temperaturen ermitteln.

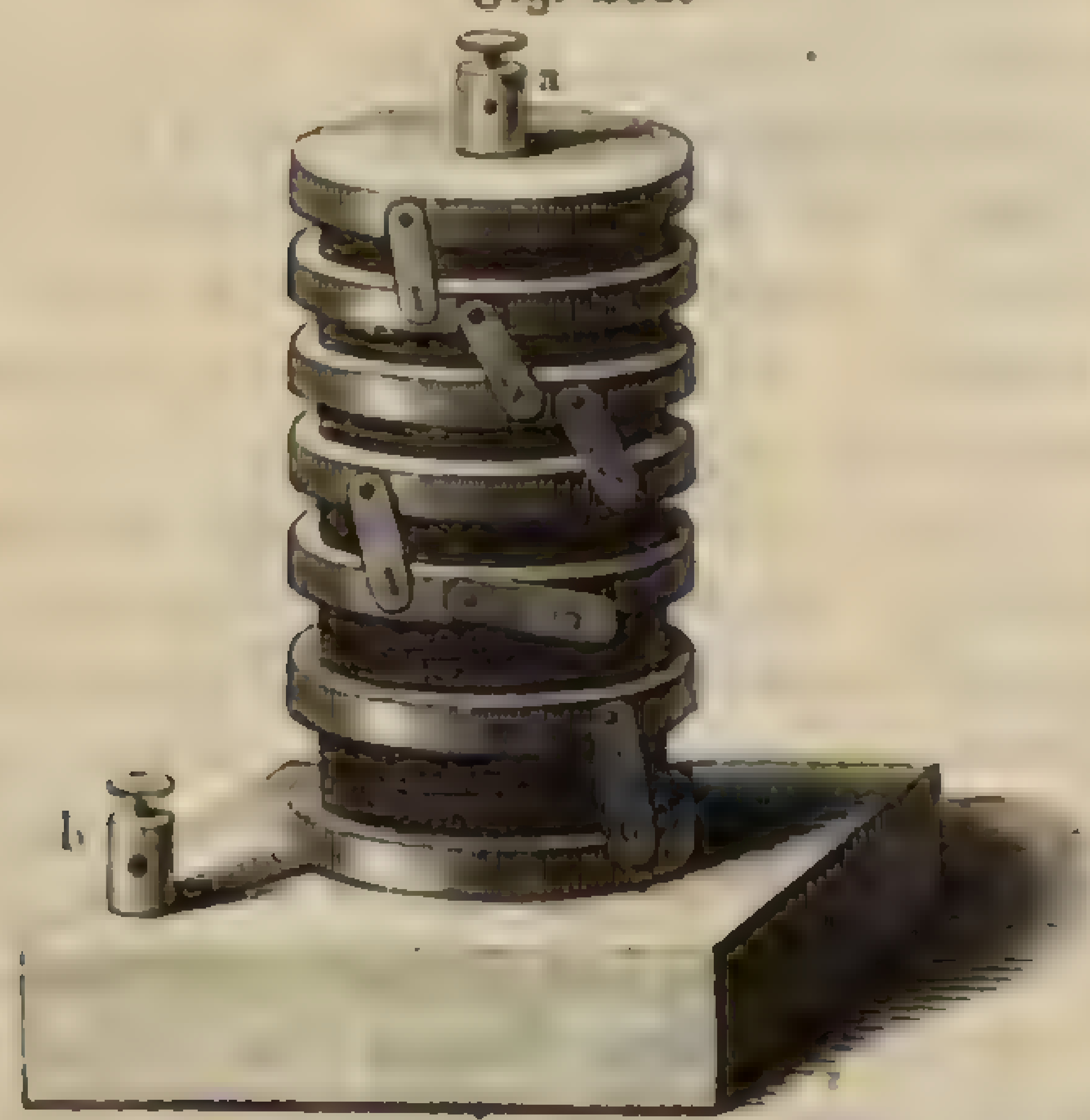
Fig. 204.



In manchen Fällen, wo es sich darum handelt, der Reihe nach verschiedene bekannte Widerstände in den Schließungsbogen einzuschalten, ist der folgende von Eisenlohr construirte Apparat, den wir die Widerstandssäule nennen wollen, sehr bequem.

Er besteht aus einem Holzcylinder, Fig. 205, in welchem ringsum Vertiefungen eingedreht sind; auf den hervorragenden Theilen sind Messingringe befestigt. Zwei solcher Messingringe können durch ein bewegliches Brückchen von starkem Messing verbunden werden. In den Vertiefungen befinden sich die Windungen eines mit Seide übersponnenen Drahtes; das eine Ende desselben ist an den nächst oberen, das andere an den nächst unteren Messingring angelöthet. — Wenn zwischen je zwei Ringen die Brückchen herabgeschlagen, und in die beiden Klemmschrauben *a* und *b* die von dem Rheomotor kommenden Zuleitungsdrähte eingeschraubt sind, so geht der Strom von einem Ringe zum andern über, ohne daß auf diesem Wege ein merklicher Widerstand zu überwinden wäre. Schlägt man aber ein Brückchen auf, wie es z. B. in unserer Figur für das Brückchen Nro. 5 gezeichnet ist, so muß der Strom, um vom 5ten zum 6ten Messingring zu gelangen, die zwischen ihnen befindlichen Drahtwindungen ihrer ganzen Länge nach durchlaufen, durch das Aufschlagen eines Brückchens wird also der Widerstand des entsprechenden Drahtstückes in den Schließungsbogen der Kette eingeschaltet.

Fig. 205.



Es ist zweckmäßig, zwei solcher Apparate zu haben, von denen jeder 9 Drahtabtheilungen hat. Die Drahtstücke des ersten haben nach der Jakobi'schen Einheit die Widerstände 1, 2, 3 u. s. w. bis 9; die Drahtstücke des 2ten haben die Widerstände 10, 20, 30 u. s. w. bis 90.

Was die Dimensionen einer solchen Widerstandssäule betrifft, so hängen sie natürlich von den Dimensionen des Drahtes ab, den man zu ihrer Construction verwenden will.

Eisenlohr hatte seine Widerstandssäule auf größere Widerstände berechnet, als die oben angegebenen, und deshalb feinen Neusilberdraht angewendet.

Die Constanten galvanischer Rheomotoren. Um den Effect beurtheilen zu können, welchen man von irgend einer galvanischen Combination zu erwarten hat, muß man nothwendig die Constanten derselben kennen, nämlich ihre elektromotorische Kraft und ihren wesentlichen Widerstand. 72

Wie diese Constanten auf dem Wege des Versuchs ermittelt werden, haben wir bereits gesehen. Man schließe die Kette durch einen kurzen und dicken Leitungsdraht, dessen Widerstand man außer Acht lassen oder nöthigenfalls in Rechnung bringen kann, und schalte eine Tangentenbussole in den Schließungsbogen ein. Aus der beobachteten Ablenkung ergiebt sich der Werth S der Stromstärke und wir haben

$$S = \frac{E}{R} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \quad 1)$$

wenn E die elektromotorische Kraft und R den wesentlichen Widerstand des Rheomotors (den Widerstand des kurzen Schließungsbogens mitgerechnet) bezeichnen. Schaltet man nun einen Widerstand l von bekannter Größe ein (wobei die im vorigen Paragraphen besprochene Widerstandssäule treffliche Dienste leistet), so nimmt die Ablenkung der Nadel ab, und dem geringern Ablenkungswinkel entspricht die Stromstärke S'. Wir haben also jetzt

$$S' = \frac{E}{R + l} \quad \ldots\ldots\ldots \quad 2)$$

Da S, S' und l bekannte, in Zahlen ausgedrückte Größen sind, so kann man mit Hülfe der Gleichungen 1) und 2) die numerischen Werthe von E und R berechnen.

Die Zahlenwerthe von E und R hängen natürlich davon ab, welche Einheiten der Stromstärke und des Widerstandes man anwendet. Wir wollen für die Zukunft stets die bereits Seite 166 und 186 definirten Jacobi'schen Einheiten gebrauchen.

Für einen von Stöhrer in Leipzig verfertigten constanten Zinkkohlenbecher wurden z. B. auf dem angegebenen Wege folgende Resultate erhalten:

	Einschaltung l.	Ablenkung v.	$tang.\ v$.	Stromstärke. $S=70 . tang. v$.	R	E
1	0 68,7	61 8,5	1,804 0,149	121,24 10,43	6,2	783
2	0 68,7	31,5 7,25	0,613 0,127	49,91 8,86	18	772
					Mittel	777

Im Mittel aus diesen beiden Bestimmungen ergiebt sich also die elektromotorische Kraft der constanten Zinkkohlenkette gleich 777, d. h. sie ist von der Art, daß, wenn der Gesammtwiderstand der Kette gleich 1 wäre, ein Zinkkohlenbecher einen Strom erzeugen würde, welcher, in gleicher Stärke durch Wasser gehend, in der Minute 777 Kubikcentimeter Knallgas liefern müßte.

Bei der ersten Bestimmung war eine der trefflichen Stöhrer'schen Thonzellen, bei der letzten hingegen eine von gewöhnlichem, mit etwas Sand versetztem Töpferthon verfertigte angewandt worden. Die Flüssigkeiten waren in beiden Fällen dieselben. Man sieht, wie durch die schlechtere Thonzelle der Widerstand auf das Dreifache wächst.

Mit dem Concentrationsgrade der Flüssigkeiten ändert sich der Widerstand der Rheomotoren sehr bedeutend, während dadurch die elektromotorische Kraft nicht merklich ab- oder zunimmt; wenn also eine Säule bei verdünnterer Säure einen schwächeren Strom giebt, so liegt der Grund davon nicht in einer Verminderung der elektromotorischen Kraft, sondern in einer Vergrößerung des wesentlichen Widerstandes.

Wenn in einer Zinkkohlenkette bei unveränderter Salpetersäure das Zink einmal in einer Mischung von 1 Theil Schwefelsäure und 5 Theilen Wasser, das andere mal in einer Mischung von 1 Theil Schwefelsaure und 10 Theilen Wasser steht, so ist im letzteren Falle der wesentliche Leitungswiderstand des Bechers mehr als 2mal größer als im ersten Falle.

Als Mittel der bis jetzt über diesen Gegenstand gemachten Messungen ergeben sich folgende Werthe der elektromotorischen Kraft für die verschiedenen rheomotorischen Combinationen:

Für einen Bunsen'schen Becher . . .	800
» » Grove'schen » . . .	780
» » Daniell'schen » . . .	470
» ein Wollaston'sches Plattenpaar .	208

Für nicht constante Ketten, also auch für die Wollaston'sche, ist die elektromotorische Kraft aus Gründen, die wir bald werden kennen lernen, eine ziemlich veränderliche Größe, der Zahlenwerth 208 ist also nur ein ungefährer.

Der Leitungswiderstand verschiedener Rheomotoren ist nun keine beständige Größe, wie die elektromotorische Kraft, denn er ändert sich mit den Dimensionen des Apparates, mit der Natur der Thonzellen, dem Concentrationsgrade der Flüssigkeiten u. s. w. Wir können also in Beziehung auf den Leitungswiderstand die verschiedenen Rheomotoren nicht so einfach vergleichen, wie wir es in Beziehung auf die elektromorische Kraft gethan haben; wir müssen uns hier auf weniger allgemeine Bemerkungen beschränken. Unter sonst gleichen Umständen, d. h. bei gleichen Dimensionen, gleichen Thonzellen und gleichem Verdünnungsgrad der Schwefelsäure ist der Leitungswiderstand eines Grove'schen und Bunsen'schen Bechers bedeutend kleiner als der eines Daniell'schen, weil die Salpetersäure besser leitet als die Lösung des Kupfervitriols. — In der Wollaston'schen Kette ist der Leitungswiderstand verhältnißmäßig sehr gering, weil die Flüssigkeitsschicht nicht dick ist und die poröse Scheidewand wegfällt.

Zweckmäßigste Combination einer gegebenen Anzahl rheomotorischer Becher, um bei gegebenem Schließungsbogen die größte Wirkung zu erhalten. 73 Ein Maximum der Stromstärke erhält man von einer gegebenen Anzahl galvanischer Becher, wenn man sie so ordnet, daß der wesentliche Widerstand im Rheomotor dem Widerstande im Schließungsbogen gleich ist.

Dieser Satz soll erst erläutert, dann bewiesen werden.

Eine gegebene Anzahl von Bechern läßt sich auf die mannigfachste Weise combiniren. 24 Becher z. B. kann man, wie dies in Fig. 206 a. f. S. anschaulich gemacht wird, auf 8 verschiedene Arten ordnen:

1) Zu einer Säule von 24 einzelnen Bechern,
2) » » » » 12 doppelten »
3) » » » » 8 dreifachen »
4) » » » » 6 vierfachen »
5) » » » » 4 sechsfachen »
6) » » » » 3 achtfachen »
7) » » » » 2 zwölffachen »
8) » » » » 1 vierundzwanzigfache Becher.

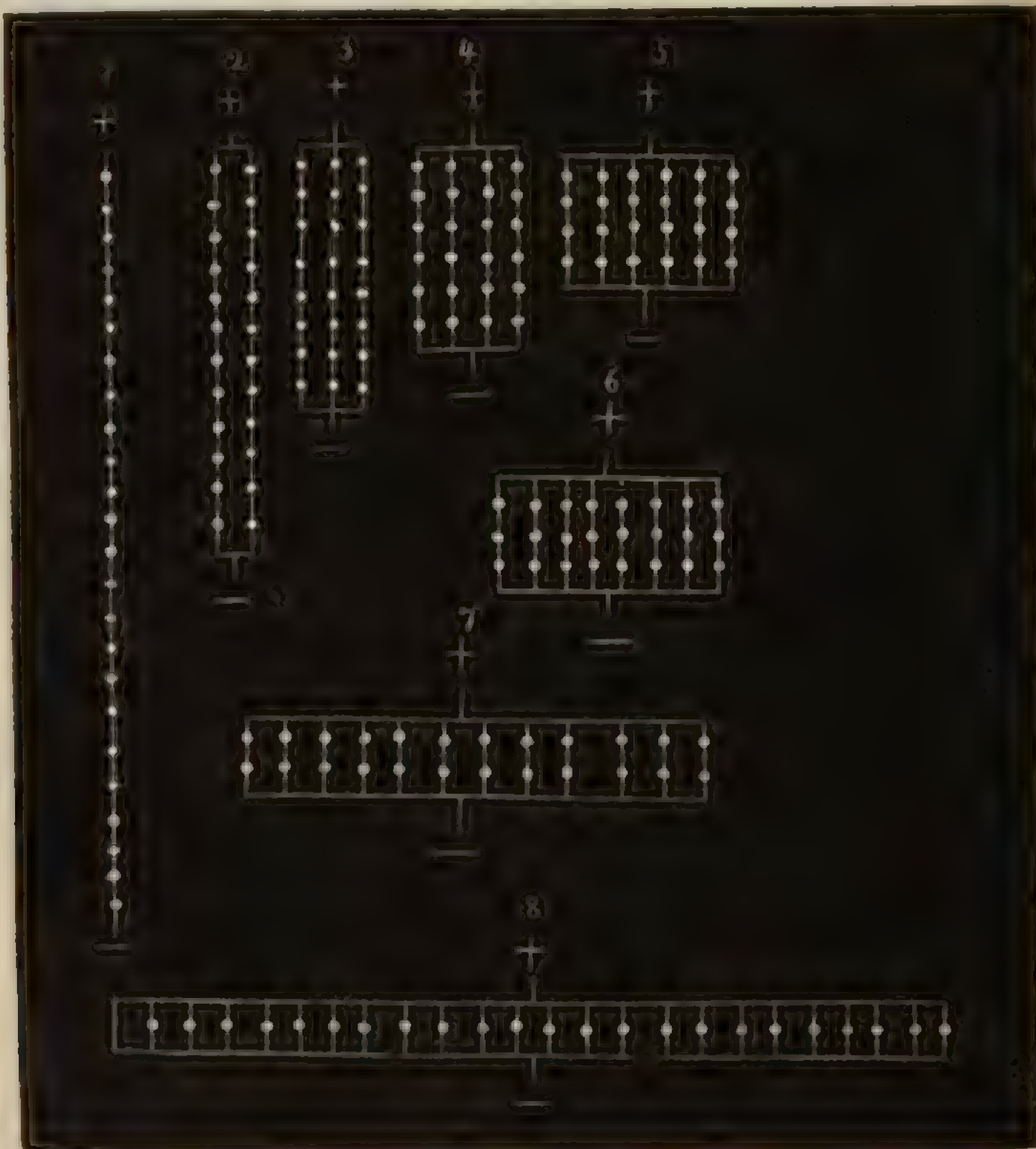
Welche von diesen Combinationen in einem bestimmten Fall zu wählen sey, hängt vom Leitungswiderstande des Schließungsbogens ab. Man hat diejenige Combination zu nehmen, deren Widerstand dem des gegebenen Schließungsbogens am nächsten steht. Bezeichnen wir mit 1 den Widerstand eines Bechers, so ist der Widerstand

für die	1. Combination	. . 24,
» »	2. »	. . 6,
» »	3. »	. . 2,666,
» »	4. »	. . 1,5,
» »	5. »	. . 0,666,
» »	6. »	. . 0,375,

für die 7. Combination . . 0,166,
» » 8. » . . 0,0416.

Ist der Widerstand des gegebenen Schließungsbogens kleiner als 0,1 von dem Widerstande eines Elementes, so hat man die letzte Combination zu wäh-

Fig. 206



len, die erste aber, wenn der Leitungswiderstand des Schließungsbogens größer ist als der von 15 Bechern. Liegt der zu überwindende Widerstand zwischen 15 und 4,3 — zwischen 4,3 und 2 — zwischen 2 und 1,08 u. s. w., so hat man die 2te, 3te, 4te u. s. w. Combination zu wählen.

Der eben erläuterte Satz muß nun noch bewiesen werden.

Betrachten wir die verschiedenen Combinationen von 24 Elementen, wie sie in Fig. 206 dargestellt sind, so übersieht man leicht, daß, wenn man die Säule verkürzt, sie in demselben Verhältniß breiter wird, d. h. wenn man weniger Becher hinter einander setzt, so kann man bei Anwendung der gleichen Becherzahl in demselben Verhältniß mehr Elemente neben einander setzen.

Gehen wir von der zweiten Combination aus. Wir haben hier 12 Doppelbecher. Reduciren wir die Länge der Säule auf die Hälfte, also auf 6,

so können wir die Breite jedes Plattenpaares verdoppeln, wir haben jetzt 6 vierfache Becher.

Macht man die Säule 3mal kürzer, so kann man 3mal soviel einzelne Becher zu einem Plattenpaar vereinigen; aus 12 zweifachen Bechern erhält man 4 sechsfache. Kurz, wenn man die Säule $a$mal kürzer macht, so kann man $a$mal soviel Becher zu einem Plattenpaare vereinigen.

Wenn die Zahl der hinter einander zur Säule vereinigten Becher $a$mal kleiner wird, so wird die elektromotorische Kraft auch $a$mal kleiner; hätte man nun die Säule bloß $a$mal kürzer gemacht, ohne ihre Breite zunehmen zu lassen, so würde auch der Leitungswiderstand $a$mal kleiner geworden seyn; wenn aber jedes Element der einen Säule aus $a$mal so vielen Einzelelementen besteht als früher, so wird nun der Widerstand in der That a^2mal kleiner als vorher.

So ist der Leitungswiderstand für 6 vierfache Elemente (Combination Nr. 4) 4mal kleiner als für 12 Doppelelemente (Combination 2), er ist für 4 sechsfache Elemente (Combination 5) 9mal kleiner als für 12 doppelte u. s. w.

Nach dieser Auseinandersetzung ist nun der fragliche Beweis leicht zu führen. Es sey für irgend eine Combination mehrerer Becher die elektromotorische Kraft E, der wesentliche Leitungswiderstand l. Wird diese Säule durch einen Schließungsbogen geschlossen, dessen Widerstand ebenfalls l ist, so ist nach dem Ohm'schen Gesetze die Stromstärke

$$S = \frac{E}{l+l} = \frac{E}{2l} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots 1)$$

Wird nun die Säule $a$mal kürzer, die einzelnen Plattenpaare aber $a$mal breiter gemacht, so wird die elektromotorische Kraft $a$mal kleiner, sie wird $\frac{E}{a}$; der Leitungswiderstand der Kette wird aber $\frac{l}{a^2}$, die Stromstärke wird also jetzt bei gleichem Schließungsbogen

$$S' = \frac{\frac{E}{a}}{\frac{l}{a^2} + l} = \frac{E}{l\left(a + \frac{1}{a}\right)} \quad \ldots . 2)$$

Die Summe $a + \frac{1}{a}$ ist nun aber unter allen Umständen größer als 2, was für einen ganzen oder gebrochenen Zahlenwerth man auch für a setzen mag; es ist also auch der Werth des Bruches 2) unter allen Umständen kleiner als der des Bruches 1). Da nun 1) den Werth der Stromstärke für den Fall bezeichnet, daß der Widerstand im Elektromotor dem Widerstande des Schließungsbogens gleich ist, der Bruch 2) aber den Werth der Stromstärke für den Fall, daß dieselbe Anzahl von Einzelelementen auf irgend eine andere Weise combinirt ist, so ist hiermit der fragliche Satz bewiesen.

Nach diesem Satze kann man nun leicht berechnen, welche Combination in einem gegebenen Falle gewählt werden müsse.

Es seyen die n disponibeln Becher so combinirt, daß sie eine Säule von s Plattenpaaren bilden, deren jedes aus t Bechern gebildet ist, so ist $n = s \, . \, t$. Bezeichnen wir den Widerstand eines Bechers mit r, so ist der Widerstand unserer Combination gleich $r \, . \, \frac{s}{t}$. — Die Becher sollen aber so combinirt seyn, daß dieser Widerstand gleich ist dem Widerstande l des gegebenen Schließungsbogens, wir haben also

$$r \, . \, \frac{s}{t} = l.$$

Da aber $t = \frac{n}{s}$, so ist auch

$$\frac{r \, . \, s^2}{n} = l,$$

oder

$$s = \sqrt{\frac{l \, . \, n}{r}}.$$

Zur Erzeugung des Stromes habe man z. B. 24 Zinkkohlenbecher, deren jeder einen Leitungswiderstand 15 ausübt. Der Schließungsbogen sey durch einen spiralförmig gewundenen dicken Kupferdraht gebildet, dessen Widerstand 14 ist, so haben wir

$$s = \sqrt{\frac{14 \, . \, 24}{15}} = 4{,}7.$$

Es wird also hier eine Säule von 4 sechsfachen Elementen, die Combination 5 auf Seite 192, die größte Wirkung geben. In der That ist für diesen Fall die Stromstärke

$$S = \frac{4 \, . \, 800}{4 \, . \, \frac{15}{6} + 14} = 133.$$

Hätte man bei demselben Schließungsbogen dieselben Becher zu einer Säule von 24 Plattenpaaren verbunden (die Combination 1 auf Seite 192), so wäre die Stromstärke nur

$$S = \frac{24 \, . \, 800}{24 \, . \, 15 + 14} = 51,$$

und für die Combination 8) wäre sie nur

$$S = \frac{800}{\frac{15}{24} + 14} = 54.$$

Hätte man 24 Daniell'sche Becher von gleichem Widerstande gehabt, so wäre für die zweckmäßigste Combination die Stromstärke

$$S = \frac{4 \, . \, 470}{4 \, . \, \frac{15}{46} + 14} = 78$$

gewesen. Eine Säule von 4 Wollaston'schen Plattenpaaren, deren jedes einen Leitungswiderstand gleich $\frac{15}{6}$ ausübt, würde in diesem Schließungsdraht eine Stromstärke

$$S = \frac{4 \,.\, 208}{4 \,.\, \frac{15}{6} + 14} = 34$$

gegeben haben.

Hat man einmal eine gegebene Anzahl von Bechern so combinirt, daß sie in einem gegebenen Schließungsbogen ein Maximum von Stromstärke geben, so wird eine Vermehrung der Becher die Stromstärke im günstigsten Falle nur im Verhältniß der Quadratwurzel aus der Becherzahl vergrößern; man muß also 4mal, 9mal, 16mal so viel Becher anwenden, um die 2fache, 3fache, 4fache Wirkung zu erhalten.

Suchen wir dies erst an einem speciellen Fall nachzuweisen. Es sey der Widerstand des Schließungsbogens gleich r, gleich dem Widerstande eines Bechers, dessen elektromotorische Kraft mit E bezeichnet werden soll, so ist die Stromstärke

$$S = \frac{E}{r + r} = \frac{E}{2r}.$$

Die Stromstärke soll nun durch Vermehrung der Becherzahl verdoppelt werden. Soll die neue Combination ein Maximum von Effect geben, so muß der Widerstand in der Kette so groß bleiben als der Widerstand des Schließungsbogens, der Widerstand der neuen Combination darf also nicht größer werden als der eines einzigen Bechers; wir werden also die doppelte Stromstärke erhalten, wenn wir bei unverändertem Widerstande die elektromotorische Kraft verdoppeln. Die elektromotorische Kraft wird verdoppelt dadurch, daß 2 Plattenpaare hinter einander gesetzt werden; wir müssen aber 2 Doppelelemente nehmen, wenn ihr Widerstand eben so groß seyn soll wie der eines einzelnen Elementes; die Combination Fig. 207 wird also eine 2mal, die Combination Fig. 208 wird eine 3mal so große Stromstärke geben als ein einzelner Becher.

Fig. 207.

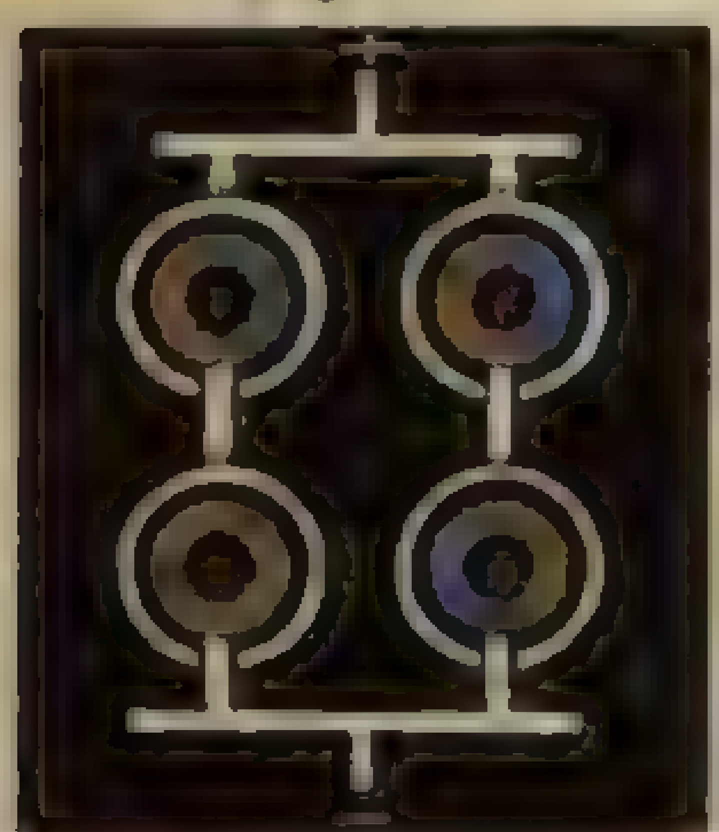
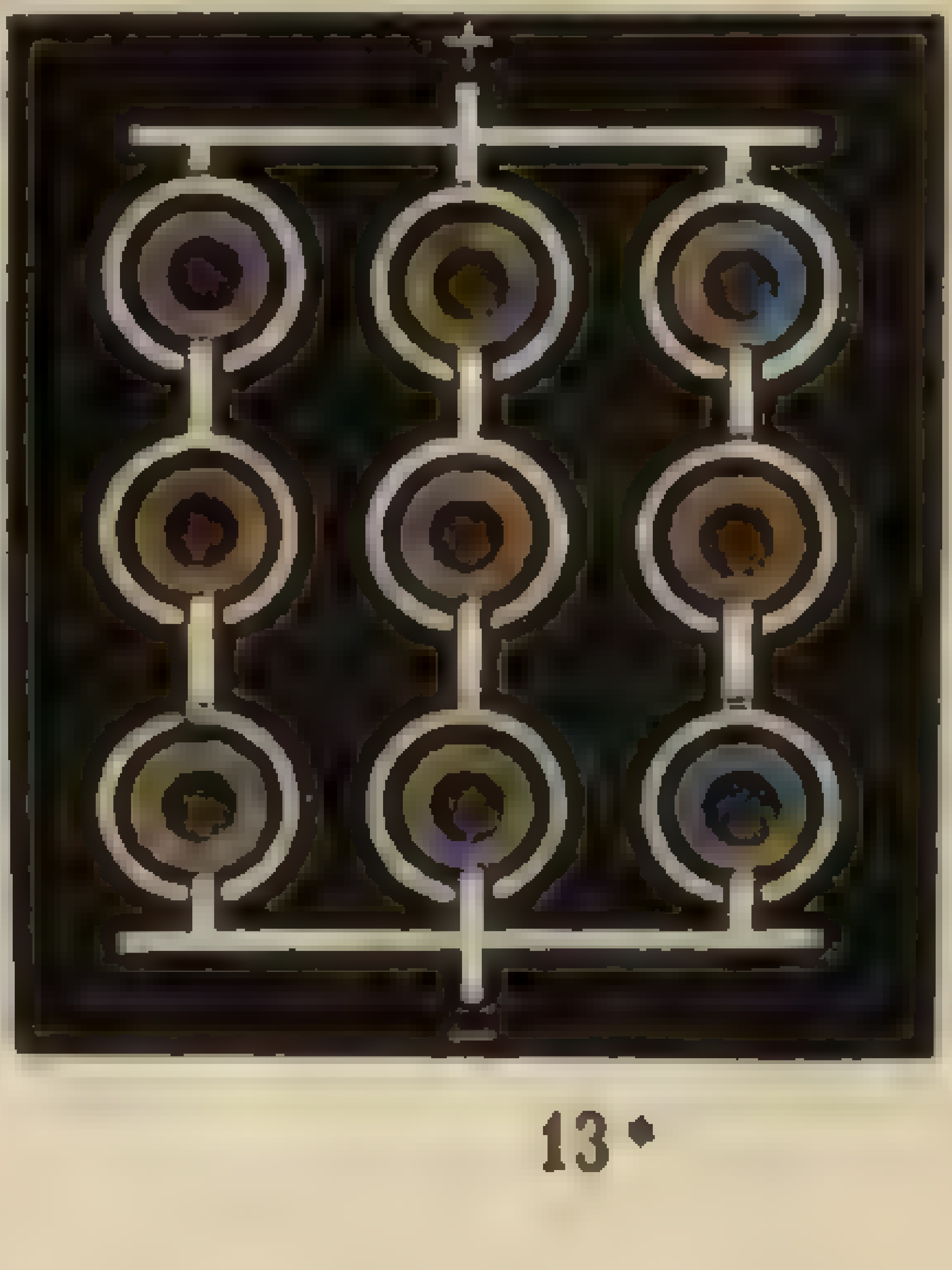


Fig. 208.



74 **Leitungswiderstand der Flüssigkeiten.** Wenn ein Voltameter in den Schließungsbogen einer Säule eingeschaltet wird, so rührt die dadurch bewirkte Verminderung der Stromstärke nicht bloß von der Vermehrung des Leitungswiderstandes durch die eingeschaltete Flüssigkeit her, sondern es findet zugleich eine Verminderung der elektromotorischen Kraft Statt, wie der folgende Versuch beweis't.

Sechs Zinkkohlenbecher wurden zur Säule verbunden. Die in den Schließungsbogen eingeschaltete Tangentenbussole gab

für die Einschaltung 0 — 46^0 Ablenkung,
» » » 51 Meter Normaldraht — 30^0 »

und daraus ergab sich für die elektromotorische Kraft der Säule

$$E = 4655$$

und für den Widerstand derselben

$$r = 64{,}3.$$

Nun wurde ein Voltameter eingeschaltet. Ohne weitere Einschaltung war die Ablenkung $31{,}8^0$. Als nun außerdem noch der Widerstand 51 eingeschaltet wurde, ging die Nadel auf $20{,}6^0$ zurück. Aus diesen beiden Ablesungen ergiebt sich nun, für den Fall, daß das Voltameter eingeschaltet war

$$E' = 3385$$

und der Widerstand der Säule sammt dem Voltameter

$$R = 78.$$

Der Widerstand der Flüssigkeit im Voltameter war demnach

$$78 - 64 = 14.$$

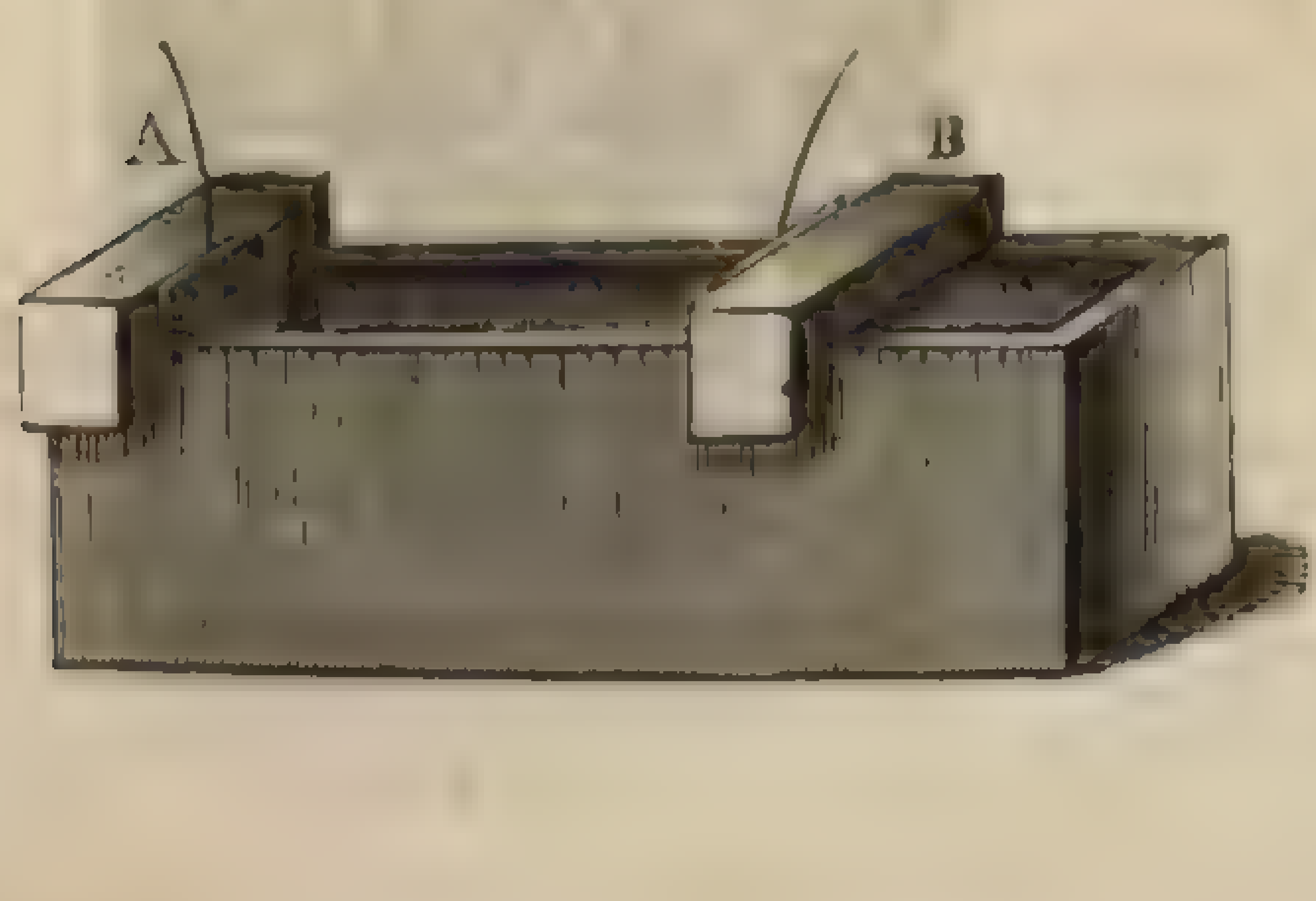
Die elektromotorische Kraft der Säule war aber durch die Einschaltung des Voltameters um

$$4655 - 3385 = 1270$$

vermindert worden. Es tritt also im Voltameter offenbar eine elektromotorische Gegenkraft auf, die man mit dem Namen der galvanischen Polarisation bezeichnet, wir werden sie im nächsten Paragraphen näher betrachten.

Will man also den Leitungswiderstand der Flüssigkeiten bestimmen, so muß man entweder den Einfluß der galvanischen Polarisation in Rechnung bringen, oder man muß den Versuch so einrichten, daß derselbe gewissermaßen von selbst eliminirt ist. Wheatstone hat ein solches Verfahren angegeben. Horsford bediente sich zur Ausführung der Wheatston'schen Methode des Apparates, welcher Fig. 209 in $^1/_2$ oder $^1/_3$ der natürlichen Größe dargestellt ist. In einem wohlgefirnißten Trog von trockenem Holze, welcher die Flüssigkeit aufnimmt, sind zwei Platinplatten eingetaucht, welche fast den ganzen Querschnitt des Troges ausfüllen. Sie werden mit den Pol=

Fig. 209.



drähten der Säule in Verbindung gebracht. Außer diesem Apparate wurde noch eine Tangentenbussole und ein Rheostat in den Schließungsbogen eingeschaltet.

Wenn man die Platinplatten weiter von einander entfernt, so muß man durch Rückwärtsdrehen des Rheostaten eine gewisse Anzahl Drahtwindungen aus dem Schließungsbogen herausnehmen, um den Stand der Tangentenbussole unverändert zu erhalten, und offenbar ist der Widerstand des aus dem Schließungsbogen entfernten Drahtes das Aequivalent für die Vergrößerung, welche den Leitungswiderstand der Flüssigkeiten durch Entfernung der Platinplatten erfahren hat. Die galvanische Polarisation ist in beiden Fällen unverändert dieselbe geblieben, sie kommt also hier gar nicht weiter in Betracht.

Zunächst hat Horsford gezeigt, daß Flüssigkeitssäulen in Beziehung auf Leitungswiderstand ganz dieselben Gesetze befolgen wie Metalldrähte, d. h. daß sich der Widerstand direct wie die Länge und umgekehrt wie der Querschnitt der flüssigen Schicht verhält.

Der Trog wurde mit verdünnter Schwefelsäure gefüllt, die Platten in 2,5 Centimeter Entfernung gebracht, und der Gesammtwiderstand so regulirt, daß die Nadel der Bussole auf einem bestimmten Punkte (etwa 20°) stand.

Die folgende Tabelle giebt nun an, und zwar in der zweiten Columne, wieviel Rheostatenwindungen (von Neusilberdraht) man aus dem Schließungsbogen herausnehmen mußte, um die Bussolennadel auf derselben Stelle zu erhalten, wenn der Abstand der Platten (bei unveränderter Anfüllungshöhe des Troges, nämlich 2,75 Centimeter) um die in der ersten Columne stehenden Werthe vergrößert wurde.

Centimeter.	
2,5	2,11
5,0	4,25
7,5	6,98
12,5	10,75
25 0	20,67

Wie man sieht, behalten die entsprechenden Zahlen der beiden Columnen sehr nahe dasselbe Verhältniß, der Widerstand der Flüssigkeitssäule ist also wirklich ihrer Länge proportional. Im Durchschnitt erhält man aus diesem Versuch für den Widerstand einer 5 Centimeter langen Flüssigkeitsschicht den Werth von 4,3 Rheostatenwindungen.

Als der Trog bis zu einer Höhe von 4,8 Centimetern angefüllt wurde, ergab sich aus einer gleichen Versuchsreihe für den Widerstand einer 5 Centimeter langen Flüssigkeitssäule (natürlich dieselbe verdünnte Säure) der Werth von 2,56 Rheostatenwindungen.

Da nun die Anfüllungshöhe 2,75 und 4,8′ sich nahezu umgekehrt verhalten wie die entsprechenden Widerstände 4,3 und 2,56 (wir haben nämlich 2,75 : 4,8 = 2,56 : 4,46), so steht also der Leitungswiderstand der flüssigen Säule im umgekehrten Verhältnisse ihrer Querschnitts.

Nach einer ähnlichen Methode fand Becquerel folgende Werthe für den specifischen Leitungswiderstand verschiedener Flüssigkeiten, den des Silbers gleich 1 gesetzt:

Gesättigte Lösung von Kupfervitriol	18450000
» » » Kochsalz	3173000
» » » salpetersaurem Kupfer . .	11120000
» » » schwefelsaurem Zink . .	17330000
Verdünnte Schwefelsäure (220 C. C. Wasser + 20 C. C. Schwefelsäure mit 1 Atom Wasser)	1128000
Käufliche Salpetersäure von 36° B.	1606000

In Betreff des Einflusses, welchen der Concentrationsgrad der Lösungen ausübt, fand Becquerel folgende Resultate:

Schwefelsaures Kupferoxyd.	Widerstand.
Gesättigte Lösung	18450000
Verdünnt zum 2fachen Volumen	28820000
» » 4fachen Volumen	48080000
Kochsalz.	
Gesättigte Lösung	3173000
Verdünnt zum 2fachen Volumen	4333000
» » 3fachen Volumen	5721000
» » 4fachen Volumen	7864000.

Mit der Temperaturerhöhung der Flüssigkeiten nimmt ihr Leitungswiderstand ab.

75 **Galvanische Polarisation.** Da die Einschaltung eines Voltameters in den Schließungsbogen einer Säule eine Verminderung der vorher wirksamen elektromotorischen Kraft zur Folge hat, so muß in dem Voltameter selbst offenbar eine elektromotorische Kraft auftreten, welche der in der Säule thätigen entgegengesetzt ist, welche also einen dem primitiven entgegengesetzten Strom zu erzeugen strebt.

Daß die Tendenz zu einem solchen Gegenstrom vorhanden ist, läßt sich am besten dadurch zeigen, daß man diesen Strom wirklich zur Entstehung bringt. Es ist dies auf folgende Weise möglich:

Man bringe die beiden Platten eines Voltameters mit den beiden Polen einer galvanischen Kette in Berührung, wie dies Fig. 210 angedeutet ist, wo *a* den Wasserzersetzungsapparat, *b* den Rheomotor darstellen soll. (Es ist zu diesem Versuche nur ein Becher nöthig.) Hat die Schließung nur ganz kurze Zeit gedauert, so sind die Platten in *a* geladen;

öffnet man die Kette, bringt man alsdann die eine Platte von *a* mit dem einen, die andere mit dem anderen Drahtende eines Multiplicators *c* in Berührung, so wird die Multiplicatornadel abgelenkt und zeigt einen Strom an, welcher dem durch den Rheomotor *b* im Voltameter *a* hervorgebrachten entgegengesetzt ist.

Durch die galvanische Polarisation erklärt es sich nun auch leicht, warum nur eine fast unmerkliche Wasserzersetzung stattfindet, wenn man ein Voltameter in den Schließungsbogen eines einzelnen Volta'schen Elementes einschaltet.

Die galvanische Polarisation erklärt uns ferner auch die Wirkung der von Ritter entdeckten Ladungssäule.

Fig. 210.

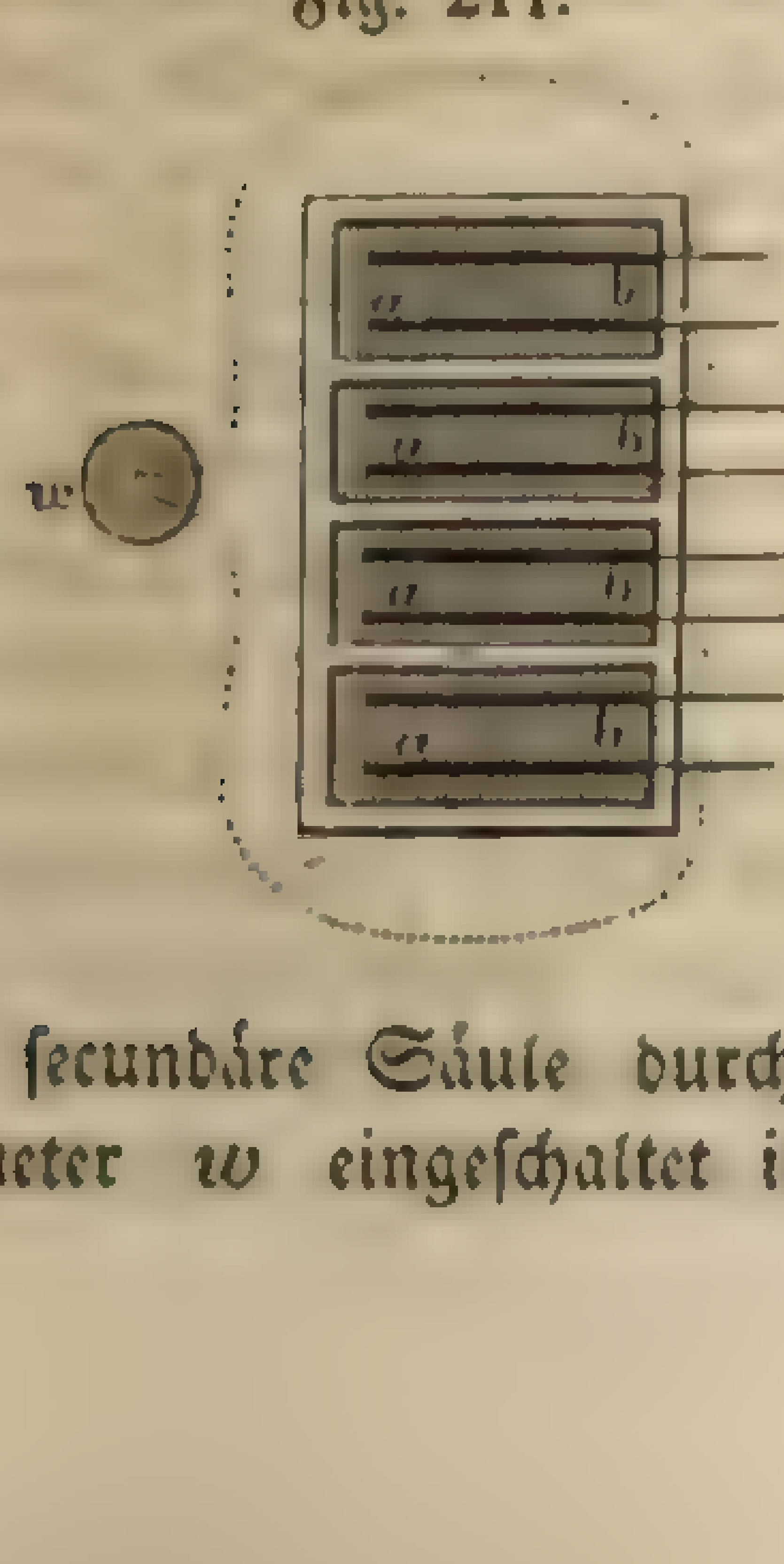


Wenn man eine Säule von Kupferscheiben und angefeuchtetem Papier aufbaut und die beiden Enden derselben mit den Polen einer Volta'schen Säule von hinlänglicher Spannung verbindet, so wird die secundäre Säule ganz in derselben Weise geladen, wie in dem eben betrachteten Falle die Platten des Voltameters. Wir haben eigentlich hier ja nur eine ganze Reihe solcher Zersetzungszellen, deren Platten sämmtlich polarisirt werden. Trennt man die secundäre Säule (auch so wird die Ladungssäule genannt) von der galvanischen Kette, welche zu ihrer Ladung diente, so ist sie nun selbst im Stande, die Erscheinungen einer Volta'schen Säule hervorzubringen; sie zeigt an dem einen Pole positive, am anderen negative Elektricität, und ihr Strom, welcher dem der ladenden Säule entgegengesetzt ist, kann selbst chemische Wirkungen hervorbringen.

Poggendorff hat gezeigt, wie man eine secundäre Säule mit einer einfachen Kette, etwa einem Grove'schen oder Bunsen'schen Becher, laden und durch die Entladung der Säule einen Strom hervorbringen kann, der ungleich stärkere Widerstände überwinden kann, als das zur Ladung angewandte Plattenpaar.

Fig. 211 stelle eine secundäre Säule dar, die aus 4 Paaren von Platinplatten besteht; jedes Paar befindet sich in einem besondern Troge.

Fig. 211.



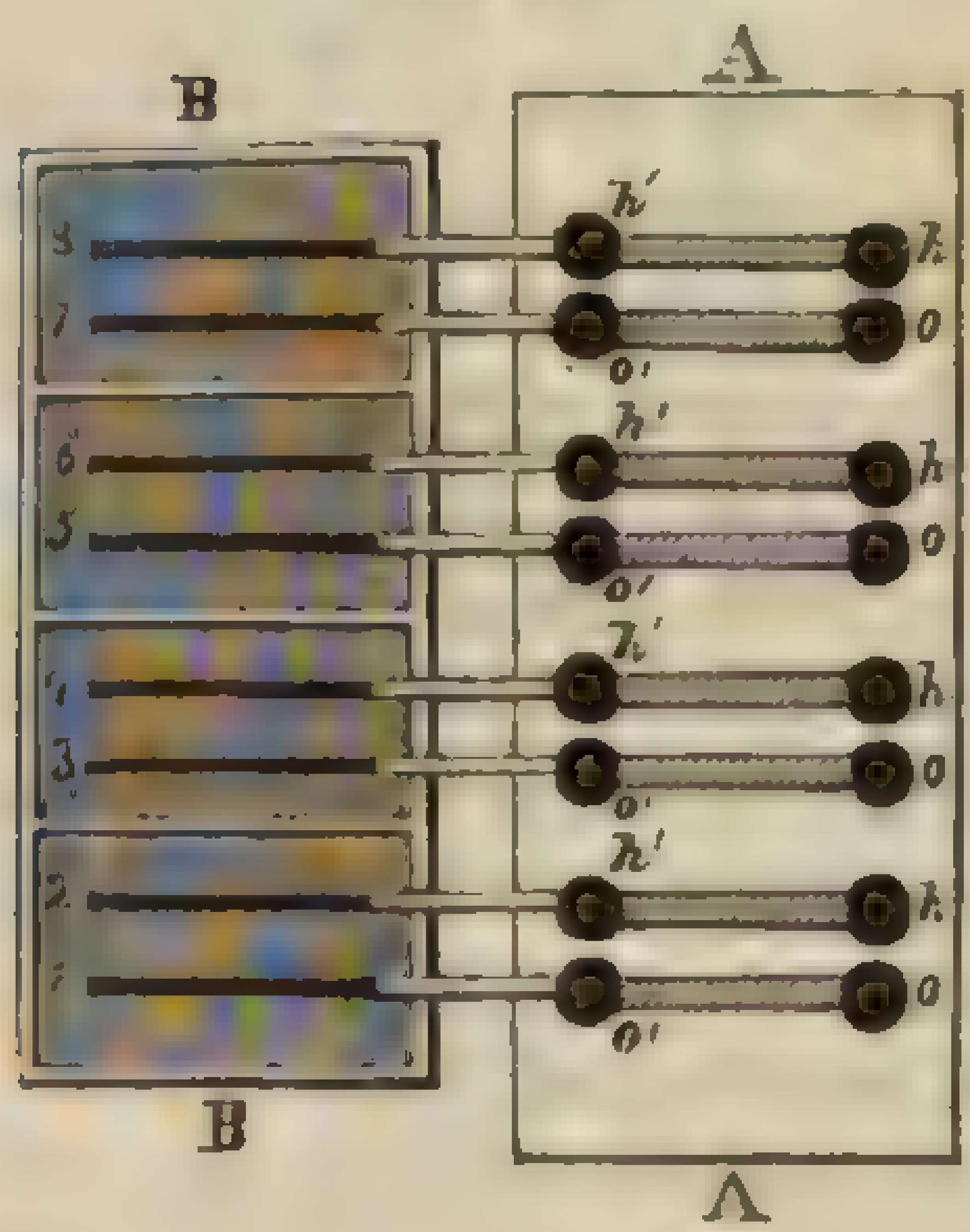
Wird nun die obere Platte einer jeden Zelle mit dem einen, die gegenüberstehende mit dem anderen Pole des ladenden Bechers verbunden, so wird jedes Paar von Platinplatten geladen, und zwar ist die Ladung für alle Paare dieselbe. Wird nun die Verbindung mit dem Rheomotor aufgehoben, die Platinplatten nach dem Princip der Säule so verbunden, wie es durch die punktirten Linien angedeutet ist, und dann die secundäre Säule durch einen Bogen geschlossen, in welchen ein Voltameter *w* eingeschaltet ist, so entsteht ein Strom, welcher eine kräftige

Wasserzersetzung zeigt, während das ladende Element eine solche Zersetzung nicht hervorbringt. Der primäre Rheomotor hat nicht Spannung genug, um Wasser zu zersetzen, diese erhält man aber, wenn man die geladenen Platinplatten nach dem Princip der Säule combinirt.

Der Entladungsstrom der secundären Säule ist natürlich nur ein vorübergehender. Um eine merkliche Quantität Wasser zu zersetzen, muß man rasch nach jeder Entladung die Platinplatten wieder in entsprechender Weise mit den Polen des primären Rheometors verbinden, um alsbald eine neue Entladung bewerkstelligen zu können. Poggendorff hat einen sehr sinnreichen Apparat erfunden, den er die Wippe nennt, mit Hülfe dessen die Ladungen und Entladungen sehr rasch ausgeführt werden können.

Neben den Zellen *BB*, welche die Platinplatten aufnehmen, und welche man Fig. 212 im Grundriß sieht, ist ein Brett *AA* angebracht, welches die Unterlage zur eigentlichen Wippe bildet. Es ist von hartem, dichtem Holz gemacht, 1 Zoll dick, 3¾ Zoll breit und, falls das Instrument zur Ladung einer Batterie von vier Plattenpaaren dienen soll, ungefähr 6 Zoll lang.

Fig. 212.



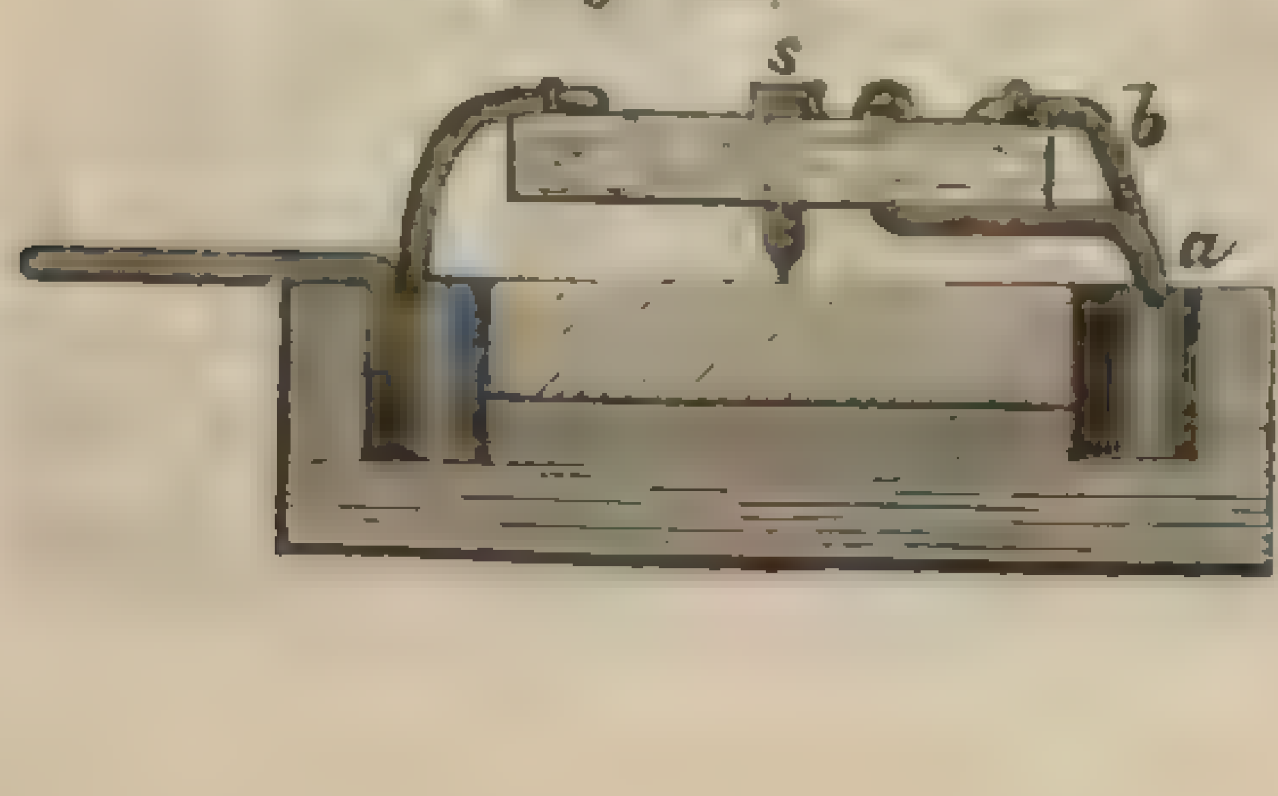
In dieses Brett sind bis zur Tiefe von ungefähr ½ Zoll zwei Löcherreihen *ho* und *h'o'* eingebohrt, welche paarweise durch Kupferdrähte, die an beiden Enden hakenförmig herabgebogen sind, oder auch durch Eisenstäbe, die in das Brett eingelassen sind, verbunden werden, wie es in unsern Figuren gezeigt ist. Die Löcher werden mit Quecksilber gefüllt.

Von der Platinplatte 1 geht ein Kupferdraht nach *o'*, die Platte 1 ist also mit dem vordersten *o'* und *o* in leitender Verbindung, ebenso die Platte 2 mit den beiden folgenden Quecksilbernäpfchen *h'* und *h* u. s. w.

Damit die Verbindungsdrähte möglichst kurz seyen, hat man die Unterlage *AA* durch ein Statif oder durch Holzklötze in gleiche Höhe mit dem oberen Theil der Platinplatten, und diesen recht nahe zu bringen.

Auf die Unterlage kommt die eigentliche Wippe zu stehen, welche in etwas größerem Maaßstab als in Fig. 212, in Fig. 213 im Durchschnitt, und mit der Unterlage in Fig. 214 perspectivisch dargestellt ist.

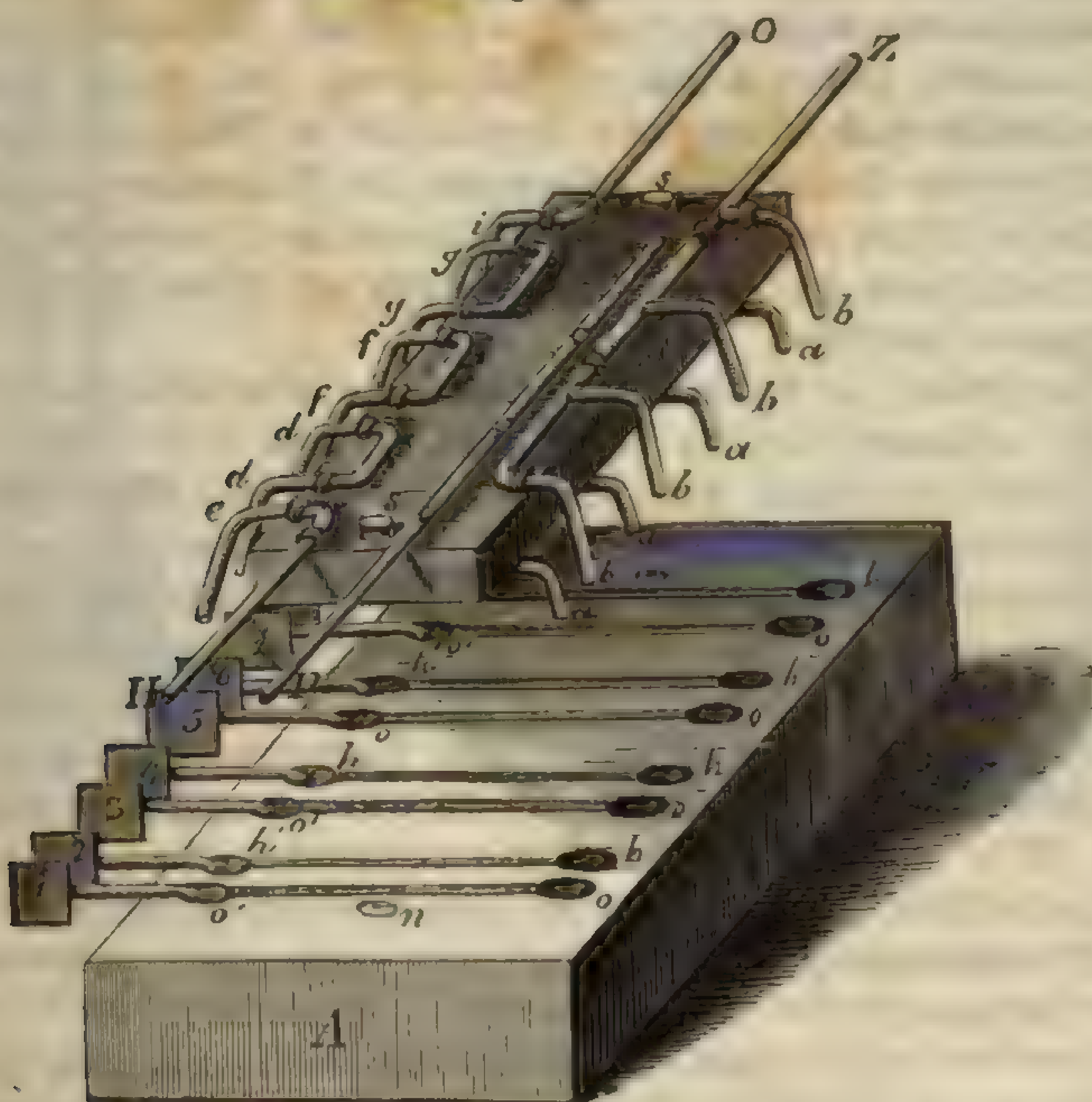
Fig. 213.



Durch den mittleren Theil eines Brettes von ⅓ Zoll Dicke, 1½ Zoll Breite und fast gleicher Länge mit der Unterlage gehen zwei stumpf zugespitzte Stifte *ss*, welchen zwei Vertiefungen in der Unterlage entsprechen. Mittelst dieser Stifte stützt sich die Wippe auf die Un=

terlage in der Weise, daß sie entweder nach der einen oder andern Seite neigt, so daß die an dem Brett befindlichen Haken entweder in die Quecksilbernäpfchen rechts oder links eintauchen.

Fig. 214.



Diese Haken sind von Kupferdraht. Auf der rechten Seite ist die Hälfte aller Haken, nämlich die mit b bezeichneten an einem nach Hinten verlängerten und dort mit Z bezeichneten Kupferdraht befestigt; die mit a bezeichneten Haken aber gehen durch das Brett hindurch zu einem nach vorn verlängerten und da mit P bezeichneten Kupferdraht. Ist nun die Wippe auf die rechte Seite geneigt, so tauchen die mit a bezeichneten Haken in die mit o bezeichneten Löcher, während die mit b bezeichneten Haken in die mit h bezeichneten Löcher eintauchen.

Bei Z ist nun ein Verbindungsdraht angeschraubt, welcher zum Zinkcylinder, bei P ein solcher, welcher zum Kohlencylinder (oder zur Platinplatte) des ladenden Rheomotors geht; wenn also die Wippe nach der rechten Seite geneigt ist, so sind dadurch die Platten 1, 3, 5, 7 mit dem Kohlen-, die Platinplatten 2, 4, 6, 8 mit dem Zinkcylinder in Verbindung; 1, 3, 5 und 7 werden also negativ, 2, 4, 6 und 8 werden positiv polarisirt. (In Figur 214 sind die Platinplatten 1, 2, 3 u. s. w., zu welchen die Kupferdrähte führen, welche aus den Löchern o' und h' nach der Linken gehen, nur schematisch angedeutet.)

Auf der linken Seite der Wippe befindet sich nun ein anderes Hakensystem. Der vorderste e ist nach vorn (nach H) gebogen, der hinterste i nach Hinten

(nach *O*). Die beiden mit *d* bezeichneten Haken sind aus einem Stück Kupferdraht gemacht, ebenso die beiden mit *f* und die beiden mit *g* bezeichneten Haken. Wird nun die Wippe nach der linken Seite geneigt, so treten die Haken *a* und *b* aus dem Quecksilber der Näpfchen heraus, die Haken *c*, *d*, *f*, *g* und *i* aber tauchen in die Näpfchen *o'* und *h'* ein. Durch die Haken *d* werden die Platten 2 und 3, durch *f* 4 und 5, durch *g* 6 und 7 in leitende Verbindung gebracht, also die Platinplatten nach dem System der Säule combinirt. Bei *H* nun ist der eine Enddraht des Voltameters, bei *O* der andere angeschraubt; sobald also die Wippe nach der linken Seite gelegt wird, werden die zuvor geladenen Platinplatten zur Säule verbunden, und diese Säule gleichzeitig durch das Voltameter geschlossen.

Um den Proceß des Ladens und Entladens zu unterhalten hat man nur die Wippe andauernd hin- und her zu bewegen, was leicht 200mal in der Minute ausgeführt werden kann. Man erhält auf diese Weise zwar einen intermittirenden, aber doch beliebig lange wirkenden Strom.

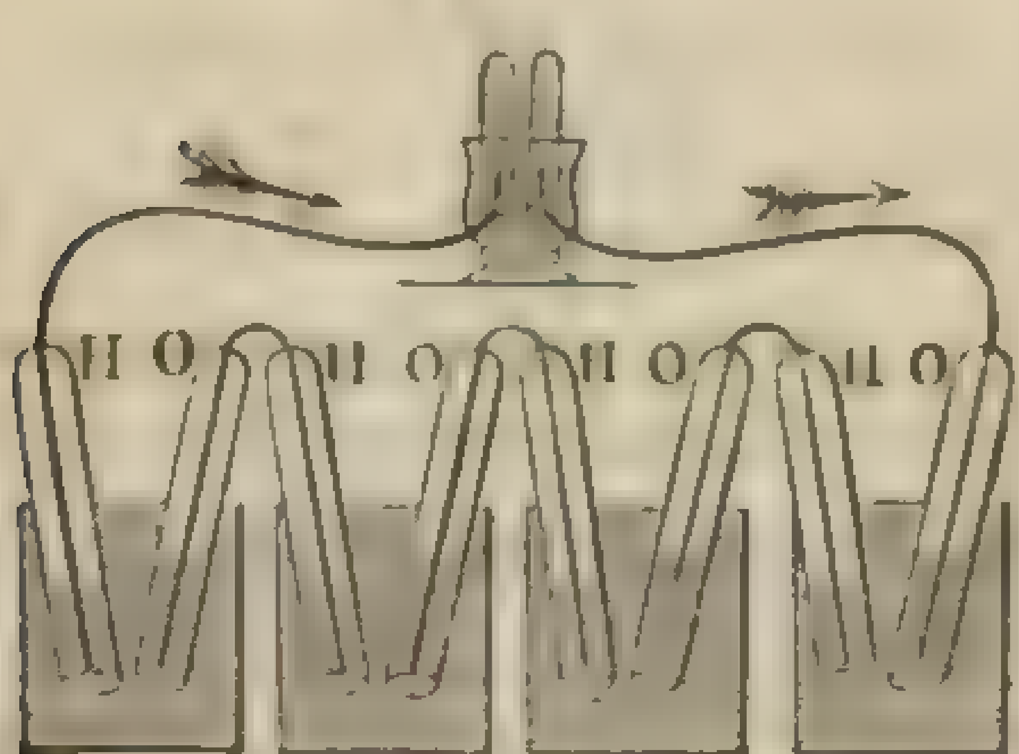
Eine Batterie von 4 Plattenpaaren, welche $2^1/_2$ Quadratzoll groß waren und mit einem Grove'schen Element geladen wurden, lieferten bei 80 Ladungen und Entladungen in der Minute 5 bis 6 Kubikzoll Knallgas.

Die Anwendung des Quecksilbers in dieser Wippe bringt mancherlei Unannehmlichkeiten mit sich; in meinem »Bericht über die neuesten Fortschritte der Physik« Seite 355 habe ich einen Apparat beschrieben, durch welchen ohne Quecksilber derselbe Effect hervorgebracht wird wie durch die Wippe.

Die Platinplatten der Poggendorff'schen Ladungssäule waren mit Platinmoor überzogen.

Die von Grove construirte Gasbatterie gehört auch in die Kategorie der Ladungssäulen. In Fig. 215 ist eine solche Gasbatterie schematisch abgebildet.

Fig. 215.



In jedem der mit verdünnter Schwefelsäure gefüllten Gefäße stehen zwei oben zugeschmolzene Glasglöckchen, in welchen sich mit Platinmoor überzogene Platinstreifen befinden. Ein in dem Glöckchen oben eingeschmolzener Platindraht verbindet je zwei Platinstreifen in der Weise, wie man es in der Figur sieht. Der obere Theil der mit *H* bezeichneten Glöckchen enthält Wasserstoffgas, die mit *O* bezeichneten dagegen enthalten Sauerstoffgas. Eine Batterie von 50 Elementen mit ungefähr $^1/_4$ Zoll breiten Platinstreifen gab einen Schlag und sehr bedeutende Wasserzersetzung.

Aus Fig. 216 und Fig. 217 ist die Einrichtung einer solchen Gassäule näher zu ersehen.

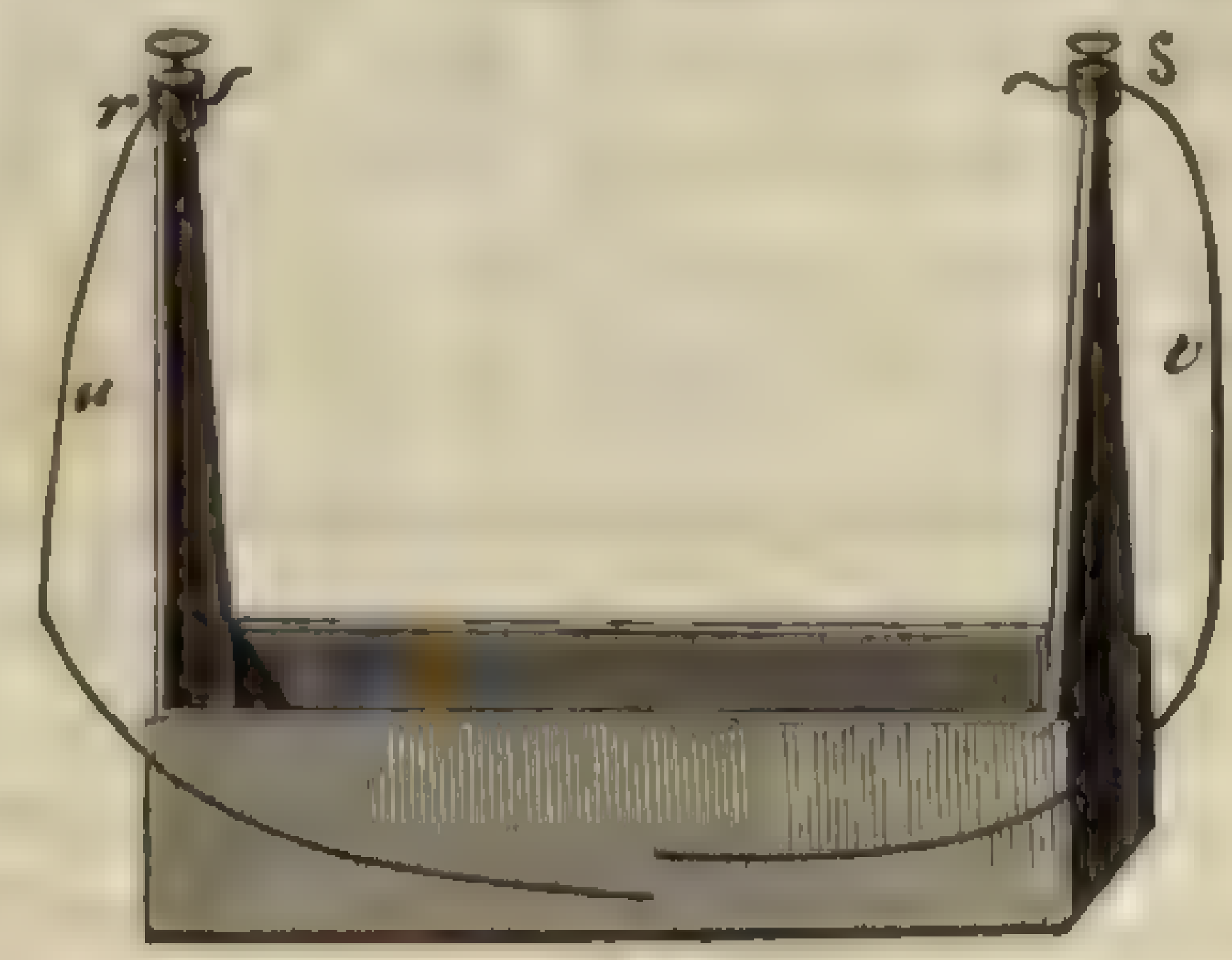
Fig. 216 stellt ein einzelnes Element dar. Auf das Glasgefäß *a* ist ein gefirnißter Metalldeckel luftdicht aufgekittet. Dieser Deckel hat drei Oeffnungen; durch zwei derselben gehen die Glasröhren *b* und *c* luftdicht hindurch, die

dritte etwas größere kann durch einen Stöpsel verschlossen werden. — Jede der beiden Röhren ist 30 Centimeter lang und hat 1,8 Centimeter im Durchmesser. Am obern Ende einer jeden Röhre ist ein Platindraht eingeschmolzen, welcher oben ein Quecksilbernäpfchen trägt, und an welchen unten eine platinirte Platinplatte angelöthet ist, welche fast bis zum untern Ende der Röhre herabreicht.

Fig. 216.



Fig. 217.



Um ein solches Element zu laden, verfährt man folgendermaßen: Man füllt durch die Oeffnung *d* das Gefäß *a* mit gesäuertem Wasser, verschließt *d*, und kehrt dann den ganzen Apparat um; auf diese Weise füllen sich die Röhren *b* und *c*. Nachdem man das Element wieder aufrecht gestellt hat, führt man durch die Oeffnung *d* das Entbindungsrohr des Gasentwickelungsapparates ein. Das eine Rohr wird so mit Wasserstoffgas, das andere mit Sauerstoffgas etwa bis auf $\frac{3}{4}$ der ganzen Länge gefüllt.

Fig. 217 stellt ein hölzernes Gestell vor, welches vier solcher Elemente aufnimmt, und zwar ist Fig. 217 in einem 4mal kleinern Maßstabe gezeichnet als Fig. 216. Sind die Elemente eingestellt, so werden die Quecksilbernäpfchen gehörig durch Kupferdrähte verbunden; in das letzte Quecksilbernäpfchen links taucht ein von der Klemmschraube *r*, in das letzte Quecksilbernäpfchen rechts taucht ein von der Klemmschraube *s* ausgehender Draht. — In die beiden Klemmschrauben werden die Poldrähte *u* und *v* eingeschraubt.

Wir haben oben Seite 196 einen numerischen Werth für die Größe der galvanischen Polarisation an den Platinplatten des Voltameters erhalten. Dieser Zahlenwerth gilt aber nur für einen speciellen Fall, denn wenn die Stromstärke ab- oder zunimmt, so wird auch die galvanische Polarisation ihre Größe ändern. Hätte man denselben Versuch, wie er auf Seite 196 beschrieben wurde, mit einer Säule von 4, von 2 rheomotorischen Bechern gemacht, so hätte man geringere Werthe für die Größe der galvanischen Polarisation gefunden.

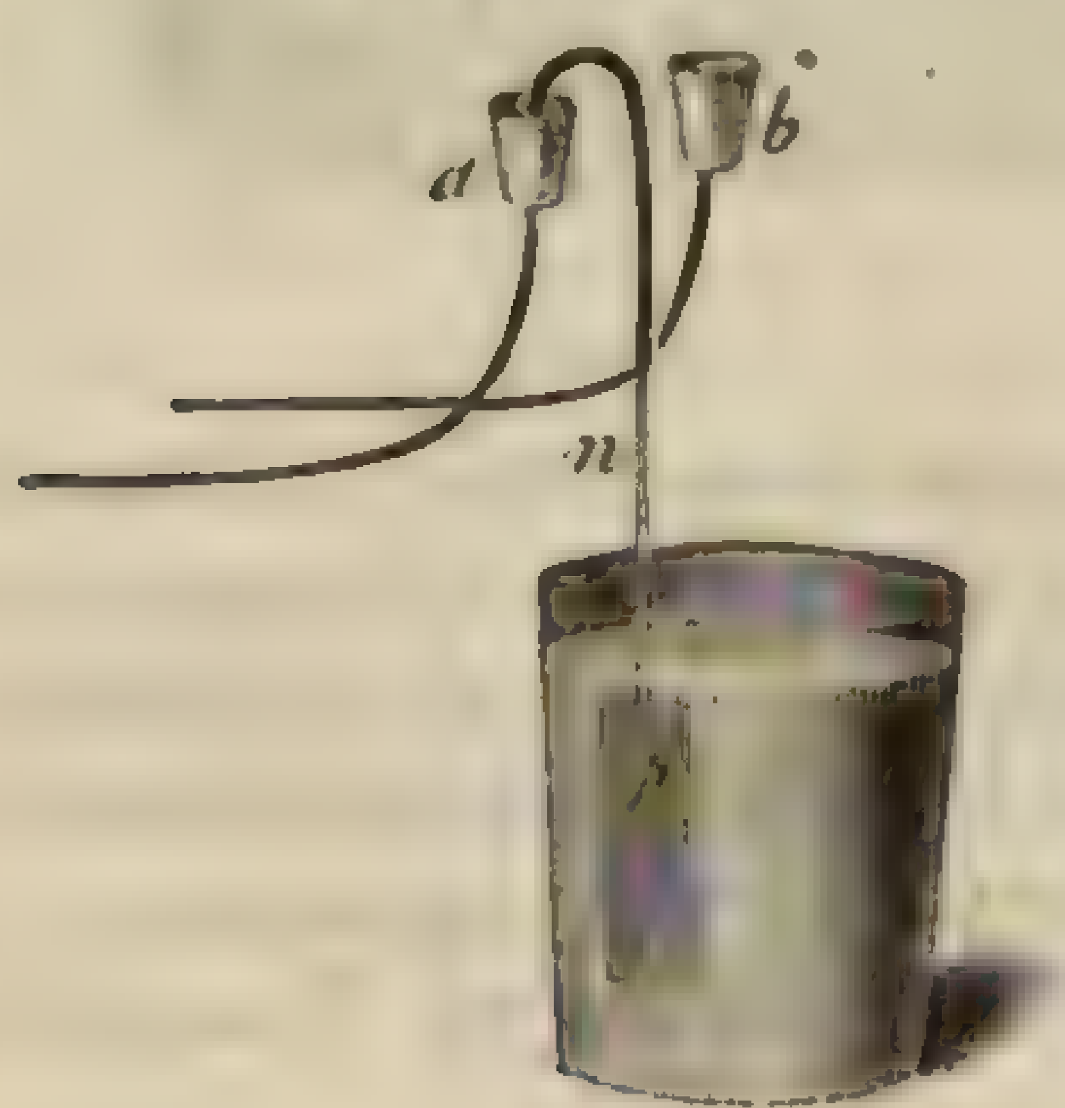
Buff's Vergleichung zwischen Stromstärke und Polarisationsgröße gab folgende Resultate:

Stromstärke.	Polarisation.
43,7	1256
19,7	1165
11,5	1132
8,0	1118
4,4	1069.

Was nun die Ursache der galvanischen Polarisation betrifft, so deutet alles darauf hin, daß sie in einer Gasschicht zu suchen sey, mit welcher sich die Platten des Voltameters in Folge der Wasserzersetzung bekleiden. Die negative Polplatte überzieht sich nämlich mit Wasserstoff und wird dadurch elektropositiv gegen die andere, die sich in gleicher Weise mit Sauerstoff bekleidet.

Für die Richtigkeit dieser Erklärung hat Schönbein directe Beweise gegeben. In ein Quecksilbernäpfchen *a*, Fig. 218, welches mit dem einen Drahtende eines nicht sehr empfindlichen Multiplicators in Verbindung steht, ist der Draht einer Platinplatte *p* eingetaucht, welche vorher wohl gereinigt seyn muß, und die in ein Gefäß mit gesäuertem Wasser herabhängt. — Hängt man nun in das Näpfchen *b* den Draht einer zweiten, ganz gleichen Platinplatte, welche vorher ebenfalls gehörig gereinigt wurde, und die auch in die saure Flüssigkeit eintaucht, so bleibt die Multiplicatornadel ruhig, weil die beiden Platinplatten elektromotorisch gleich sind. Hat man aber die zweite Platinplatte, die wir mit p' bezeichnen wollen, vorher eine Zeit lang in eine Atmosphäre von Wasserstoff eingetaucht, so zeigt sie sich jetzt elektropositiv gegen die andere, die Multiplicatornadel wird in einer Richtung abgelenkt, welche zeigt, daß in der Flüssigkeit ein positiver Strom von p' nach p geht.

Fig. 218.



Ist die Platte p' in einer Atmosphäre von Chlor eingetaucht gewesen, so zeigt sie sich elektronegativ gegen p.

Hat die Platinplatte p' als negative Polplatte zur galvanischen Wasserzersetzung gedient, so verhält sie sich genau so, als ob sie in eine Flasche mit Wasserstoffgas eingetaucht gewesen wäre.

Dadurch erklärt sich nun auch die Wirkung der Gasbatterie. Sie rührt von der Bekleidung der Platten mit Wasserstoffgas und Sauerstoffgas her. Natürlich müssen in Folge des Stromes die Gase nach und nach verzehrt werden. Der Unterschied zwischen der Gasbatterie und der Ladungssäule besteht lediglich in der Art, wie den Platten das Gas zugeführt wird. Bei

der Ladungssäule werden die Gase an den Platten selbst entwickelt, bei der Gasbatterie hingegen werden sie außerhalb der Batterie erzeugt, und dann erst mit den Platten in Berührung gesetzt.

Taucht man zwei Polplatten von Kupfer in eine gesättigte Auflösung von Kupfervitriol, so findet gar keine galvanische Polarisation Statt, und zwar aus folgendem Grunde. Das Kupfersalz wird durch den Strom in der Art zerlegt, daß Sauerstoff an den positiven, metallisches Kupfer aber an der negativen Polplatte ausgeschieden wird. Hier ist also jede Gasablagerung an den Platten unmöglich; die eine wird stets von neuem mit Kupfer überzogen und der an der andern Platte ausgeschiedene Sauerstoff wird sogleich wieder durch die Oxydation des Kupfers weggenommen. Während auf der einen Platte sich Kupfer ablagert, wird die andere verzehrt.

Die Erscheinungen der galvanischen Polarisation geben uns nun auch Aufschluß über die Theorie der constanten Ketten. Der galvanische Strom zersetzt nicht allein die Flüssigkeit im Voltameter, sondern es findet eine ähnliche Zersetzung in jedem Becher, in jeder Zelle des Rheomotors Statt. Der Sauerstoff wandert zur positiven Platte, welche in den meisten Fällen Zink ist, und oxydirt dieselbe, hier findet also keine Gasablagerung Statt, die zu einer galvanischen Polarisation Anlaß geben könnte; der Wasserstoff lagert sich aber auf der negativen Polplatte ab und kann also eine merkliche Verminderung der ursprünglichen elektromotorischen Kraft bewirken, die sich dann mit der Stromstärke ändert.

Vergleichen wir die Daniell'sche und die Wollaston'sche Säule. Die elektromotorische Kraft der ersten ist 470, die der zweiten nur 208. Der Unterschied beider liegt nur darin, daß in der Wollaston'schen Kette das Kupfer, wie das Zink in verdünnter Schwefelsäure sich befindet, es wird sich also auf der Kupferplatte eine Wasserstoffschicht ablagern, welche schwächend auf die ursprüngliche elektromotorische Kraft des Apparates wirkt. Bei der Daniell'schen Kette dagegen steht die Kupferplatte in einer Lösung von Kupfervitriol, wodurch sie stets rein metallisch erhalten, und eine Ablagerung von Wasserstoff, welche die ursprüngliche elektromotorische Kraft schwächen könnte, unmöglich gemacht wird.

Das Wesen der constanten Ketten besteht also darin, daß eine Wasserstoffablagerung an der negativen Polplatte verhindert wird. Bei der Bunsen'schen und Grove'schen Kette geschieht dies dadurch, daß die negative Polplatte in Salpetersäure steht, welche den ausgeschiedenen Wasserstoff sogleich bei seiner Entstehung wieder oxydirt.

Passivität des Eisens. Taucht man einen Eisendraht in verdünnte Sal- 76
petersäure, von weniger als 1,35 spec. Gewicht, so wird er lebhaft angegriffen, taucht man ihn dagegen in concentrirte Salpetersäure, so wird er nicht von derselben angegriffen. Ja, wenn er in die concentrirte Säure eingetaucht war, so kann man ihn nun selbst in weniger concentrirte Säure bringen, ohne daß er von derselben angegriffen wird. Durch das Eintauchen in concentrirte Säure ist also der Eisendraht gewissermaßen passiv geworden.

Die Behandlung mit concentrirter Salpetersäure ist jedoch nicht das einzige Mittel, wodurch man Eisen passiv machen kann. Wenn man einen Eisendraht

in der Weingeistflamme bis zum Anlaufen erhitzt, so wird er dadurch gleichfalls passiv gemacht.

Fig. 219.



Taucht man in Salpetersäure von 1,35 specifischem Gewicht zuerst einen Platindraht *P*, Fig. 219, berührt man denselben mit einem wohl gereinigten Eisendraht, so wird derselbe nicht von der Säure angegriffen, wenn man ihn in die Flüssigkeit eintaucht, während er außerhalb fortwährend mit dem Platindraht in Berührung bleibt, obgleich derselbe Draht für sich allein lebhaft von der Säure angegriffen wird.

Taucht man statt des Platindrahtes das geglühte und dadurch passiv gemachte Ende eines Eisendrahtes in die Flüssigkeit, so kann dieser vollkommen die Rolle des Platindrahtes im vorigen Versuch übernehmen.

Fig. 220.



Fig. 220 stellt eine Variation dieses Versuchs dar. Das geglühte und dadurch passiv gemachte Ende eines Eisendrahts werde in Salpetersäure von 1,35 specifischem Gewicht getaucht. — Es wird nicht angegriffen. Biegt man aber nun den Draht um, so wird auch das ungeglühte Ende *E* beim Eintauchen in die Flüssigkeit nicht angegriffen, während ein heftiger Angriff erfolgt, wenn man das ungeglühte Ende *E* in die Flüssigkeit eintaucht, ohne daß sich das geglühte Ende *P* schon darin befindet.

Hat man den Draht *E*, Fig. 219 in die Flüssigkeit eingeschoben, während er außerhalb mit *P* in Berührung blieb, so kann man nun *P* ganz entfernen, ohne daß der Draht *E* seine Passivität verliert; ja man kann mit dem auf die erwähnte Weise passiv gemachten Drahte *E* die Passivität auf einen weitern gewöhnlichen Eisendraht in derselben Weise übetragen, wie man sie von *P* und *E* übertrug.

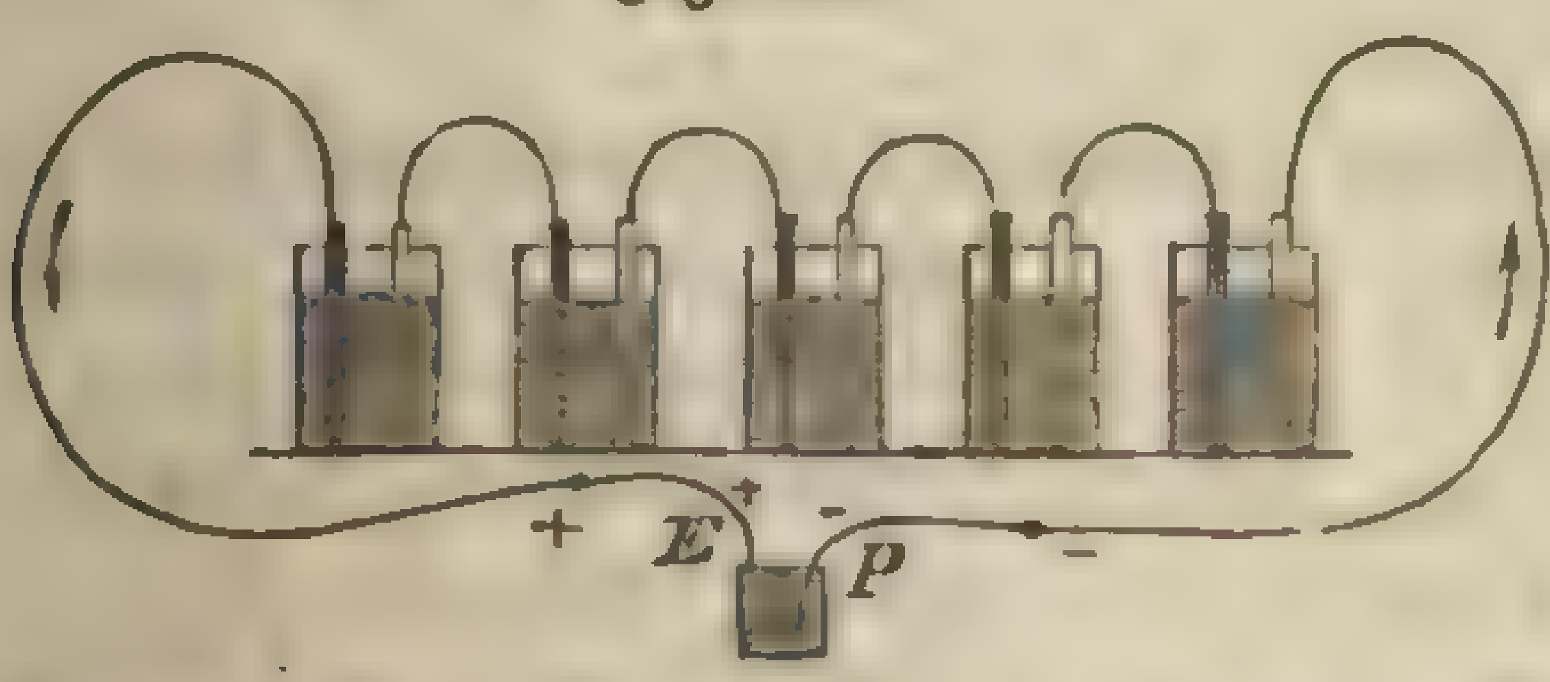
Es ist klar, daß die durch das Glühen des Eisendrahtes gebildete Oxydulschicht den Eisendraht vor dem Angriff der Säure schützt, und dadurch ist die Idee nahe gelegt, daß das passive Eisen selbst in solchen Fällen, wo eine solche Schicht nicht sichtbar wird, z. B. beim Eintauchen in concentrirte Salpetersäure, dennoch diese Eigenschaft einer dünnen Oxydulschicht zu verdanken hat. — Dann aber zeigt der Umstand, daß man den Platindraht, Fig. 219, mit einem geglühten Eisendraht vertauschen kann, daß das durch Glühen gebildete Eisenoxydul ganz wie Platin functionirt, daß durch eine solche Oxydulschicht das Eisen gewissermaßen eine negative galvanische Polarisation erleidet.

In dem Fig. 219 dargestellten Versuch bildet *E* offenbar den positiven Pol einer e i n f a c h e n Kette, es ließ sich also erwarten, daß man Eisen auch da-

durch passiv machen kann, daß man es als + Pol einer Volta'schen Säule in eine Säure taucht, die ihn an und für sich angreifen würde.

Schönbein hat den Versuch wirklich angestellt (P. A. XXXVII. 391). An dem + Pol einer aus 15 nicht constanten Zinkkupferelementen bestehenden Säule (einige Becher einer constanten Batterie reichen zu diesem Versuche ebenfalls aus) war ein Eisendraht befestigt, während der negative Pol dieser Säule mit einem Platindraht endigte. Zunächst wurde der negative Platindraht in ein Gefäß mit Salpetersäure von 1,36 specifischem Gewicht eingetaucht und dann die Kette durch Eintauchen des mit dem + Pol der Säule verbundenen Eisendrahtes in dieselbe Säure geschlossen, wie Fig. 221 andeutet; es zeigte sich dieser Eisendraht vollkommen passiv, d. h. er wurde von der Säure in keiner Weise angegriffen, und besaß nach Abtrennung von der Säule dieselben Eigenschaften, wie ein durch Glühen passiv gemachter Draht.

Fig. 221.



Bleibt der passive Eisendraht fortwährend als + Pol der Kette in der Säure eingetaucht, so zeigt sich die merkwürdige Erscheinung, daß der in Folge der Wasserzersetzung an demselben ausgeschiedene Sauerstoff sich nicht etwa mit dem Eisen verbindet, sondern frei an demselben aufsteigt, gerade so, als ob der + Pol der Kette durch einen Platindraht gebildet würde. — Die Oxydschicht also, welche sich unter den erwähnten Umständen gleich beim Eintauchen des Eisendrahtes in die Flüssigkeit bildet, schützt ihn also vollkommen vor fernerer Oxydation.

Zum Gelingen dieses Versuchs ist keineswegs Salpetersäure von 1,35 specifischem Gewicht nöthig, man kann dieselbe noch über ihr 100faches Volumen mit Wasser verdünnen und immer noch wird der zuletzt in die Flüssigkeit eingetauchte eiserne + Pol der Säule passiv werden, immer noch wird an demselben ausgeschiedener Sauerstoff frei als Gas aufsteigen.

Ganz ähnliche Erscheinungen finden Statt, wenn anstatt verdünnter Salpetersäure verdünnte Schwefelsäure oder Phosphorsäure angewendet wird. Soll in dieser Säure der Sauerstoff am positiven Eisendraht sich frei entwickeln, so muß ebenfalls der negative Pol der Säule zuerst in die Flüssigkeit eintauchen, und dann erst der mit dem positiven Pol verbundene Eisendraht in dieselbe eingeführt werden.

Taucht man den positiven eisernen Poldraht vor dem negativen Poldraht in die verdünnte Säure, so wird er angegriffen; eben so wenig wird der Eisendraht passiv, wenn man ihn abgetrennt vom positiven Pol der Säule in die verdünnte Säure taucht, mag der negative Pol bereits in dieselbe eingeführt seyn oder nicht. Kurz, wenn das Eisen passiv werden soll, so darf es der chemischen Einwirkung der verdünnten Säure nicht vor der Stromwirkung ausgesetzt seyn.

Wendet man statt der verdünnten Säure in diesem Versuch die wässerige Lösung einer Sauerstoffverbindung an, welche nicht merklich chemisch auf das Eisen einwirkt, wie Lösungen von Alkalien und vollkommen neutralen Salzen, so wird das Eisen immer passiv, wie man auch die Kette schließen mag; bei Anwendung von Kalilauge z. B. oder Salpeterlösung wird das mit dem positiven Pole verbundene Eisen stets passiv, man mag nun den negativen oder positiven Pol zuerst in die Flüssigkeit tauchen. (P. A. XXXVIII. 492).

Darauf gründet sich die Construction von Voltametern, welche durch Platten von Eisenblech gebildet sind, die in Kalilauge eintauchen. In solchem Voltameter entwickelt sich der Sauerstoff frei an der positiven Polplatte, ohne das Eisen anzugreifen.

Fig. 222 stellt ein von Bunsen construirtes Voltameter mit Eisenplatten dar. In einem cylindrischen Standglase von 6 bis 8 Cent. Durchmesser und 30 bis 35 Cent. Höhe befinden sich zwei concentrische Cylinder von Eisenblech, welche durch eine von Kalilauge nicht angreifbare und zugleich isolirende Substanz, am besten durch Stränge von gesponnenem Glas außer Berührung gehalten werden. Das mit Kalilauge gefüllte Gefäß ist mit einem wohl passenden Kork verschlossen, durch welchen, außer dem Gasentbindungsrohre, noch zwei Kupferdrähte hindurch gehen, von denen jeder an einer Eisenplatte angelöthet ist, und welche mit den Polen der Säule in Verbindung gebracht werden.

Fig. 222.



Ist ein solches Voltameter einmal gut hergerichtet, so kann man es, mit der Kalilauge gefüllt, immer zum Gebrauch bereit stehen lassen.

Um ein starkes Aufbrausen der Kalilauge bei der Gasentwickelung zu verhindern, gießt man eine etwa eine Linie hohe Schicht von Terpentinöl darauf.

Beim Ueberblick der bisher besprochenen Thatsachen kann wohl die Theorie der Passivität kaum mehr zweifelhaft seyn, sie ergiebt sich aus den Erscheinungen leicht und ungezwungen, wenn auch manche Einzelheiten noch einer näheren Untersuchung bedürfen.

Es kann wohl als gewiß betrachtet werden, daß die Erscheinungen der Passivität des Eisens durch eine Oxydul- oder Oxydschicht vermittelt werden, welche einerseits das Eisen vor dem Angriff der Säure schützt, andererseits aber in ähnlicher Weise elektromotorisch wirkt wie die Bleihyperoxydschicht, welche eine Platinplatte bekleidet.

Wie diese Schicht zusammengesetzt ist, unter welchen Bedingungen sie sich

bildet, unter welchen sie sich auflös't, sind freilich Fragen, welche noch keineswegs für alle Fälle genügend beantwortet sind, doch liegt darin kein Grund, die oben angedeutete Basis der Erklärung zu verlassen.

Die Bildung der Oxydulschicht beim Glühen der Eisendrähte ist klar. — Damit sich eine ähnliche Schicht beim Eintauchen in eine Flüssigkeit bilden kann, ist es nöthig, daß dem Eisen die zur Bildung der Oxydschicht nothwendige Menge Sauerstoff zugeführt wird, bevor noch irgend eine andere chemische Einwirkung der Flüssigkeit auf das Eisen stattfinden kann.

Concentrirte Salpetersäure ist so reich an Sauerstoff, daß das bloße Eintauchen eines Eisendrahtes in dieselbe genügt, um die passiv machende Schicht zu bilden. Wie es kommt, daß ein Eisendraht durch wiederholtes Eintauchen in Säure von 1,35 passiv wird, ist noch nicht recht klar gemacht.

In Flüssigkeiten, welche weniger sauerstoffreich sind, muß ein galvanischer Strom die Zuführung des Sauerstoffs an das Eisen unterstützen, wenn sich die Oxydhülle bilden soll, und zwar muß die den Strom erregende elektromotorische Kraft um so stärker seyn, je weniger leicht ausscheidenden Sauerstoff die Flüssigkeit enthält. In Salpetersäure von 1,35 specifischem Gewicht genügt noch die Combination des Eisendrahtes mit Platin; bei verdünnter Schwefelsäure muß man schon eine Volta'sche Säule in Anwendung bringen.

Daß ein Eisendraht, welcher durch bloßes Eintauchen in concentrirte oder durch Combination mit Platin in verdünnter Salpetersäure passiv gemacht worden ist, seinen vollen Metallglanz zeigt, kann keinen Grund abgeben, das Vorhandenseyn einer dünnen Oxydschicht in diesem Falle in Zweifel zu ziehen, denn diese Schicht muß bei wachsender Dicke die Schattirungen der Newton-schen Farbenringe durchlaufen; so lange also die Schicht nur noch eine den Farben der ersten Ordnung entsprechende Dicke hat, kann sie dem Metallglanz des Drahtes höchstens eine schwache Nüancirung in's Bläuliche oder Gelbliche ertheilen.

In elektromotorischer Beziehung steht die das Eisen passiv machende Schicht dem Platin sehr nahe.

Da das passive Eisen so stark elektronegativ ist, so erklärt sich nun auch leicht, wie es kommt, daß man die Platinplatte der Grove'schen oder den Kohlencylinder den der Bunsen'schen Säule durch Eisen ersetzen kann, wie wir Seite 156 gesehen haben, vorausgesetzt, daß es immer in sehr concentrirte Salpetersäure zu stehen kommt.

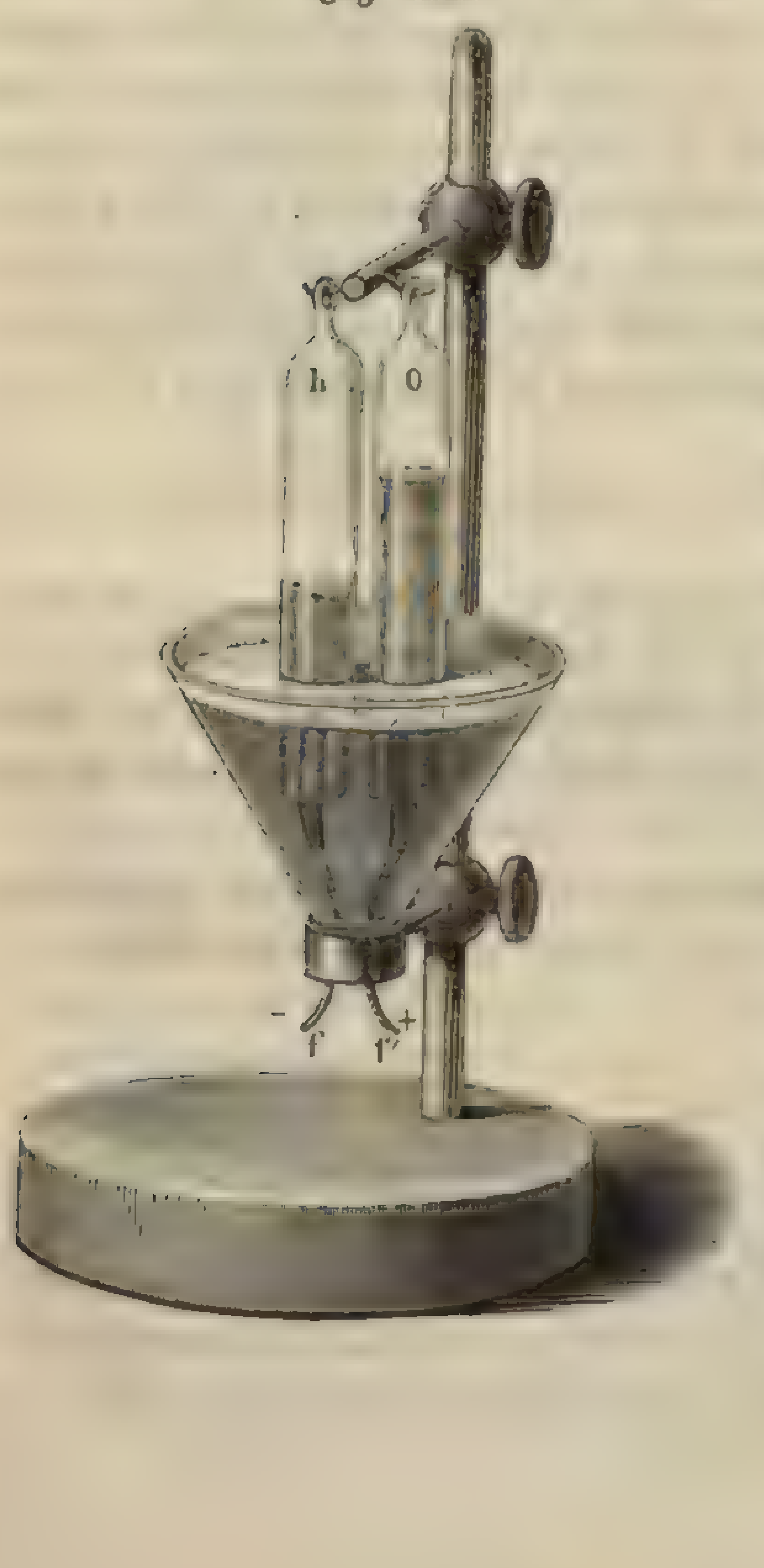
Auch andere Metalle, namentlich Wismuth, Kupfer und Zinn zeigen ähnliche Passivitätserscheinungen, nur in weit weniger ausgezeichneter Weise.

Drittes Kapitel.

Chemische Wirkungen des Stromes.

77 **Galvanische Wasserzersetzung.** Carlisle und Nicholson entdeckten im Jahre 1800 zuerst eine chemische Wirkung der Säule. Diese beiden Physiker hatten, um die Volta'schen Versuche zu wiederholen, in der Eile eine Säule von Geldstücken, Zinkplatten und feuchten Pappscheiben aufgebaut. Nach einigen Versuchen wurde der eigenthümliche Geruch von Wasserstoffgas merklich, und Nicholson kam, dadurch veranlaßt, auf den glücklichen Gedanken, den Strom durch eine Röhre mit Wasser gehen zu lassen, indem er die beiden Poldrähte in dasselbe eintauchte und in einer kleinen Entfernung von einander hielt. Bald stieg das Wasserstoffgas in kleinen Bläschen am negativen Pole auf, während der positive, aus Zink bestehende Poldraht sich oxydirte. Wird für den positiven Poldraht Platin oder Silber genommen, so oxydirt er sich nicht, sondern das Sauerstoffgas steigt ebenfalls in Bläschen in die Höhe. — So war denn endlich das Wasser direct in seine Elemente zerlegt. Cavendish hatte zwar schon gezeigt, daß Sauerstoff und Wasserstoff sich zu Wasser verbinden, aller Anstrengung ungeachtet war aber die directe Zersetzung des Wassers noch nicht gelungen. Ein passender Apparat zur Wasserzersetzung ist Fig. 223 dargestellt. Er besteht aus einem Glase, durch dessen isolirenden Boden zwei Kupferdrähte hindurchgehen, welche sich jedoch nicht berühren dürfen. An diese Drähte sind Platinplatten angelöthet, die Löthstelle aber und der Kupferdraht, soweit er sich im Gefäß befindet, ist sorgfältig mit Siegellacklösung überzogen. Zwei Glasglöckchen *o* und *h* sind mit gesäuertem Wasser gefüllt und hängen in das Glas herab,

Fig. 223.



so daß sich über jeder der beiden Polplatten ein solches Glöckchen befindet. Sobald man nun die Drähte f und f' mit den Polen der Säule in Verbindung bringt, entwickeln sich Gasblasen in reichlichem Maaße. Reines Sauerstoffgas steigt immer in dem einen Glöckchen über dem positiven Pole auf, das Wasserstoffgas im andern. Es versteht sich von selbst, daß das Wasser in den Glöckchen von dem Wasser in dem Gefäße nicht abgesperrt seyn darf, damit der Strom von einem Drahte durch die Flüssigkeit zum andern gelangen könne.

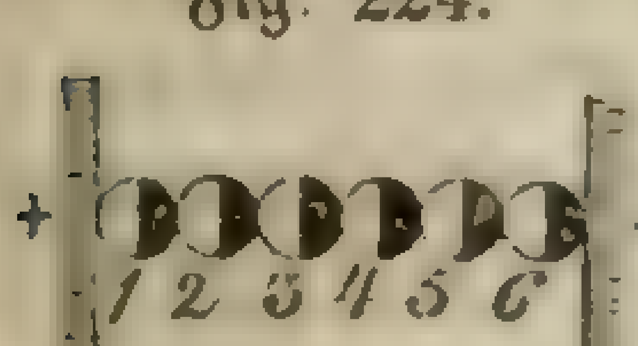
Die Gasentwickelung ist um so lebhafter, je näher die Polplatten einander sind und je größer die Oberfläche des Metalls ist, welche mit dem Wasser in Berührung steht. Man wendet deshalb anstatt der ursprünglich gebräuchlichen Poldrähte, Platinplättchen an.

Das destillirte und vollkommen reine Wasser wird auf diese Weise doch nur langsam zersetzt; sobald man aber nur einige Tropfen irgend einer Säure zugießt oder einige Körnchen Salz im Wasser auflöst, wodurch sein Leitungsvermögen bedeutend erhöht wird, beginnt eine sehr lebhafte Gasbildung.

Die **Voltameter** zum Auffangen der gemischten Gase haben wir bereits Oben Seite 164 kennen gelernt.

Grotthuß hat von dieser merkwürdigen Erscheinung folgende Erklärung gegeben, welche jetzt von fast allen Physikern als die richtige angenommen wird. Wenn Wasserstoffgas mit Sauerstoff zu Wasser verbunden ist, so werden bei dieser innigen Berührung der kleinsten Theilchen die Sauerstoffatome negativ, die Wasserstoffatome positiv elektrisch; wegen der gleichförmigen Vertheilung der Theilchen beider Substanzen aber zeigt natürlich die Verbindung keine freie Elektricität. Wenn sich nun Wasser zwischen den beiden Polen einer galvanischen Kette befindet, so wird der positive Pol auf die zunächstliegenden Wassertheilchen in der Weise wirken, daß der negative Bestandtheil angezogen und dem positiven Pole zugekehrt wird, während das abgestoßene Wasserstoffatom des ersten Wassermoleküls von dem positiven Pole abgewendet ist.

Fig. 224.



Das Wassertheilchen 1 wirkt aber auf das Wassertheilchen 2 in der Weise, daß es seine Elemente nach derselben Seite hin kehrt; in derselben Weise wirkt 2 auf 3 u. s. w. So kommt es denn, daß alle Wassermoleküle zwischen den beiden Polen ihr Sauerstoffatom dem positiven Pole, ihr Wasserstoffatom dem negativen Pole zukehren, ungefähr so, wie es Fig. 224 versinnlicht, wo die Kreischen Wassertheilchen darstellen, und zwar die schwarzen Hälften das Wasserstoffatom, die weißen das Sauerstoffatom. Wenn nun die Anziehung, welche der positive Pol auf das Sauerstoffatom des Wassertheilchens 1 ausübt, groß genug ist, so wird es gleichsam seinem Wasserstoffatome entrissen; dieses Wasserstoffatom verbindet sich wieder mit dem Sauerstoffe des Wassertheilchens 2; der Wasserstoff von 2 verbindet sich mit dem Sauerstoff von 3 u. s. w. Auf diese Weise geht auf der ganzen Strecke zwischen beiden Polen eine beständige Zersetzung und Wiederbildung von Wasser vor sich, nur an den Polen selbst können die Bestandtheile desselben frei werden.

Die Beweglichkeit der Wassertheilchen, wie sie im flüssigen Zustande statt-

findet, ist wesentlich, wenn das Wasser den Strom leiten und durch denselben zersetzt werden soll. Eis wird nicht zerlegt und leitet den Strom nicht.

Gerade so wie zwischen den Polen findet auch in allen Zellen der galvanischen Kette eine Wasserzersetzung Statt.

78 **Zersetzung der Alkalien durch den galvanischen Strom.** Eine neue Epoche der Wissenschaft beginnt mit der im Jahre 1807 von Davy mit Hülfe der Säule gemachten Entdeckung der Zerlegbarkeit der Alkalien, welche man bis dahin für einfache Körper gehalten hatte. Die Alkalien und Erden wurden dadurch in die Klasse der Oxyde zurückgeführt und die Chemie mit zwei neuen metallischen Körpern, Kalium und Natrium, bereichert. Kaum waren die ersten unvollständigen Nachrichten über diese Entdeckung verbreitet worden, als man an mehreren Orten den Versuch mit Erfolg wiederholte. Das Wichtigste über diese Versuche findet man im 28sten Bande von Gilbert's Annalen. Ermann und Simon in Berlin, Jacquin in Wien publicirten alsbald Näheres über die Art und Weise, wie ihnen die galvanische Zerlegung des Kalis und des Natrons geglückt war, und den Bemühungen von Gay-Lussac und Thénard gelang auch alsbald die Zerlegung dieser Körper ohne Anwendung des galvanischen Stromes auf rein chemischem Wege.

Folgendes ist das Wesentliche des Versuchs: wenn man ein Stückchen Kali oder Natron, eben so feucht, wie sie durch Anhauchen werden, zwischen die Pole einer kräftigen Säule bringt, indem man es etwa auf eine Platinplatte legt, die mit dem positiven Pole der Säule verbunden ist und es oben mit einem, den negativen Pol der Säule bildenden Platindrahte berührt, so findet anfangs eine schwache Wasserzersetzung Statt, alsbald aber erscheinen an dem negativen Poldraht kleine Metallkügelchen von silberweißer Farbe und nicht zu verkennendem Metallglanz, die anfänglich flüssig scheinen wie Quecksilber, und sich oft zu größeren vereinigen. Alsbald aber werden die Kügelchen fest und verlieren durch die Berührung mit der umgebenden Luft ihren Metallglanz. Wird ein solches Kügelchen, welches an dem Drahte hängt, weggeführt und in einen Tropfen Wasser gebracht, so detonirt es mit lebhafter Flamme.

Mit Natron gelingt der Versuch weit leichter als mit Kali.

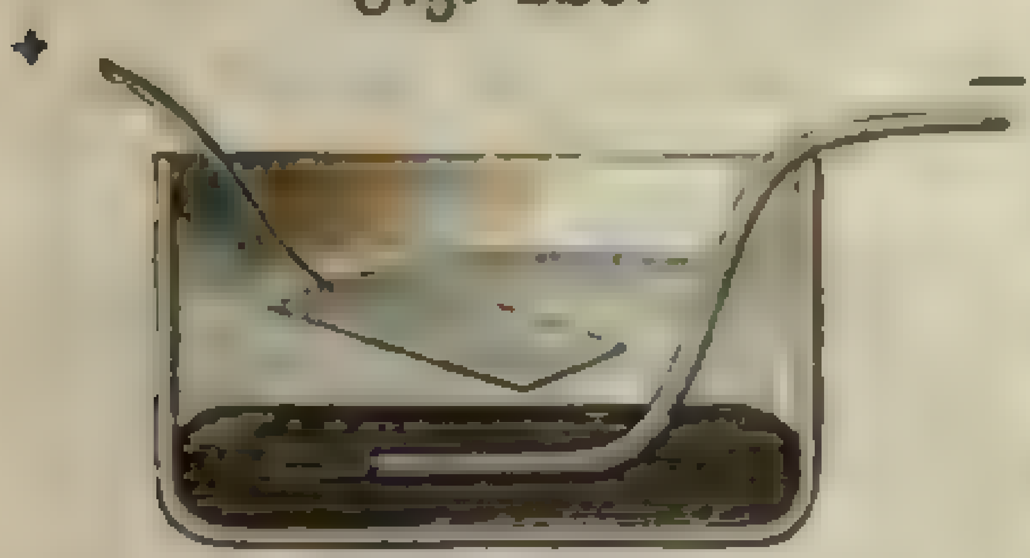
Die Kügelchen von Kalium und Natrium lassen sich unter rectificirtem Steinöl aufbewahren und man kann überhaupt, um die Reoxydation dieser Körper, welche so starke Verwandtschaft zum Sauerstoff haben, zu verhindern, den Versuch in der Weise anstellen, daß das Kali- oder Natronstückchen ganz in Steinöl eingetaucht ist, so daß die gebildeten Metallkügelchen gar nicht mit der Luft in Berührung kommen.

Davy wandte zu seinen Versuchen einen Trogapparat von 250 Plattenpaaren an. Ermann und Simon gebrauchten eine Säule von 60 Plattenpaaren, deren jedes 8 Zoll Durchmesser hatte; demnach genügt zur Zersetzung der Alkalien schon eine Säule von 20 bis 25 starkgeladenen Bunsen'schen Bechern.

Seebeck hat ein Mittel angegeben, um das durch die Säule ausgeschiedene Kalium sicherer zu sammeln. In ein Stück kaustischen Kalis, welches zersetzt werden soll, wird eine Höhlung gemacht und Quecksilber in dieselbe gegossen.

Das Kali wird dann auf ein mit dem positiven Pole der Säule in Verbindung stehendes Platinstück gelegt, das negative Drahtende aber in das Quecksilber getaucht. Alsbald geht die Zersetzung vor sich, Sauerstoff wird am Platin frei, das Kalium aber verbindet sich mit dem Quecksilber zu einem ziemlich beständigen Amalgam. Am leichtesten erhält man das Amalgam der Alkalimetalle auf folgende, Fig. 225 dargestellte Weise. Auf den Boden eines Glasgefäßes wird Quecksilber gegossen und in dasselbe ein Platindraht eingetaucht, welcher bis auf den untern horizontal umgebogenen Theil mit Siegellack überzogen ist. Dieser Draht wird mit dem negativen Pol einer Säule (von etwa 6 bis 10 Zinkkohlenbechern) in Verbindung gebracht. Auf das Quecksilber gießt man nun die **concentrirte** alkalische Lösung und taucht in dieselbe eine mit dem positiven Pol einer Säule verbundene Platinplatte. Die Zersetzung geht sogleich vor sich und das Kalium wird von dem Quecksilber unter beträchtlicher Temperaturerhöhung aufgenommen. Dies Amalgam erstarrt beim Erkalten.

Fig. 225.



Galvanische Zersetzung der Salzlösungen. Auch die Salze werden durch den galvanischen Strom zerlegt, und zwar erscheint die Säure am positiven, die Basis am negativen Pole. Die Zerlegung der Salze läßt sich dem Auge auf folgende Weise sehr gut sichtbar machen. Man fülle eine Uförmig gebogene Röhre, Fig. 226, mit einer Salzlösung, etwa mit einer Lösung von Glaubersalz, die durch etwas Malventinctur violet gefärbt ist. Taucht man nun auf der einen Seite den positiven, auf der andern den negativen Poldraht in die Flüssigkeit, so tritt eine Gasentwickelung an beiden Polen ein, zugleich aber wird die Flüssigkeit am positiven Pole roth, am negativen grün gefärbt. Vertauscht man nun die Pole, so stellt sich erst allmälig die ursprüngliche violette Färbung wieder her, dann aber erscheint Roth da, wo vor der Vertauschung der Drähte Blau war, und umgekehrt. 79

Fig. 226.



Gießt man eine Salzlösung in zwei neben einander stehende Gefäße, die durch ein feuchtes Asbestgewebe oder durch einen mit der Flüssigkeit gefüllten Heber verbunden sind, taucht man dann in das eine Gefäß den positiven, in das andere den negativen Poldraht, so geht die Zersetzung ebenfalls vor sich, und nach einiger Zeit findet sich die Säure in dem Gefäße, in welchem der positive Draht eingetaucht ist, die Basis im andern. Selbst wenn man in das Gefäß *A*, welches den positiven Poldraht enthält, die basische Lösung, in das andere, *B*, aber die Säure gießt, so findet sich nach einiger Zeit die Säure in *A*, die Basis in *B*. Man hat diese Versuche auf mannigfache Weise abgeändert.

In dieser Weise treten jedoch die Zersetzungserscheinungen nur bei den Alkalisalzen auf. Bei der **Elektrolyse** (so nennt nämlich **Faraday** die galvanische Zersetzung, während er die der galvanischen Zersetzung unterworfenen Flüssigkeiten mit dem Namen **Elektrolyte** bezeichnet) der Metallsalze, deren

metallische Basis eine geringere Verwandtschaft zum Sauerstoff haben, wird am positiven Pole gleichfalls Sauerstoff ausgeschieden, am negativen Pole aber das Metall als solches niedergeschlagen. Taucht man z. B. die aus Platin bestehenden Polplatten einer Säule in eine Lösung von Kupfervitriol, so steigen am positiven Pol Bläschen von Sauerstoff auf, während man an der negativen Polplatte gar keine Gasentwickelung beobachtet. Nimmt man aber nach einigen Minuten die negative Polplatte aus der Lösung heraus, so findet man sie vollständig mit metallischem Kupfer überzogen.

Faraday nennt die Polplatten Elektroden, Wege, auf denen der Strom in den Elektrolyten ein- und austritt, und zwar ist der positive Pol die Anode, der negative die Kathode. Die Bestandtheile des Elektrolyten heißen Ionen, und zwar ist das Kation das positive, das Anion das negative Element.

Von der Metallreduction durch den galvanischen Strom hat man zahlreiche praktische Anwendungen gemacht, die in einem der nächsten Paragraphen besprochen werden sollen.

Wenn man die Chlormetalle im geschmolzenen Zustande dem Strom aussetzt, so werden sie gleichfalls elektrolysirt und zwar in der Art, daß das Chlor am positiven, das Metall am negativen Pole ausgeschieden wird. Faraday stellte den Versuch in der Weise an, daß er das Chlormetall, z. B. Chlorsilber oder Chlorblei, auf einer Glasplatte oder in einer Uförmig gebogenen Glasröhre durch eine Weingeistlampe schmolz und dann die Poldrähte in das geschmolzene Salz eintauchte. Wenn das am positiven Pol austretende Chlorgas die Substanz dieses Poles angreift, so kann es nicht als Gas entweichen, sondern es verbindet sich mit dem Metall. Taucht man z. B. silberne Poldrähte in geschmolzenes Chlorsilber, so wird der positive Pol in dem Maaße aufgelös't, in welchem sich metallisches Silber an dem andern Poldrahte ansetzt.

Wenn concentrirte Lösungen der Chlormetalle dem Strom ausgesetzt werden, so werden sie meist in gleicher Weise zersetzt, wie die geschmolzenen Chlormetalle, d. h. es wird Chlor am einen, das Metall am andern Pol ausgeschieden, während das Lösungsmittel nicht zersetzt wird. Dies ist z. B. der Fall bei einer concentrirten Lösung von Zinnchlorür in Wasser, Kupferchlorür in Salzsäure u. s. w.

Bei verdünnteren Lösungen tritt allerdings neben der Elektrolyse des Chlormetalles auch noch die Zersetzung des Lösungsmittels, also in den meisten Fällen des Wassers auf.

Eine gesättigte Lösung von Kochsalz wird so zerlegt, daß Chlor am positiven Pole entweicht. Das am negativen Pol ausgeschiedene Natrium oxydirt sich aber sogleich wieder, indem es dem Wasser der Lösung den Sauerstoff entzieht und dadurch eine entsprechende Entbindung von Wasserstoffgas bewirkt, so daß man am negativen Pole Wasserstoffbläschen aufsteigen sieht.

80 **Das elektrolytische Gesetz.** Es kann wahrscheinlich gar kein, wenigstens kein nur einigermaßen starker elektrischer Strom durch eine Flüssigkeit hindurchgehen, ohne daß dieser Durchgang von einer chemischen Zersetzung begleitet ist, oder mit anderen Worten, die chemische Zersetzung ist das Mittel, welches den

Durchgang des Stromes durch einen Elektrolyten möglich macht. — Absoluter Alkohol, Oel u. s. w. werden nicht elektrolysirt, sie leiten aber auch den Strom nicht. In jeder Zelle eines jeden galvanischen Apparates findet eine solche Zersetzung Statt, so lange er geschlossen bleibt, und Faraday hat gezeigt, daß die Quantität des elektrischen Stromes der Zersetzung in jeder einzelnen Zelle proportional ist.

Daß zwischen der Leitung des elektrischen Stromes durch Flüssigkeiten und ihrer Zersetzung eine innige Beziehung stattfindet, ist wohl nicht zu verkennen, ja man kann geradezu behaupten, daß der Uebergang der Elektricität durch die chemische Zersetzung vermittelt wird. In jeder Zelle geht der positive Strom vom Zink aus durch die Flüssigkeit zum Kupfer, in derselben Richtung wandern aber auch die Wasserstoffpartikelchen fort; sie sind die Träger der positiven Elektricität, welche durch sie zu der Kupferplatte übergeführt wird.

Während gewöhnliches käufliches Zink, in verdünnte Schwefelsäure getaucht, rasch aufgelöst wird, bleibt chemisch reines oder amalgamirtes Zink in derselben Flüssigkeit fast unangegriffen. Construirt man nun eine galvanische Säule mit chemisch reinen oder mit amalgamirten Zinkplatten, so kann begreiflicher Weise in einer solchen Kette keine Wasserzersetzung stattfinden, so lange sie nicht geschlossen ist. Wird aber die Kette geschlossen, so beginnt augenblicklich die Wasserzersetzung in jeder Zelle, es wird jedoch nur gerade so viel Wasser zersetzt und Zink aufgelöst, als zur Leitung des circulirenden Stromes nöthig ist; die Menge des aufgelösten Zinks muß also in einem ganz bestimmten Verhältnisse zu diesem Strome stehen. Faraday wandte den Strom einer solchen Kette zur Wasserzersetzung an und bestimmte genau die in einer gegebenen Zeit entwickelte Menge von Knallgas. Es fand sich nun, daß für jedes Gewichtstheil Wasserstoffgas, welches zwischen den Poldrähten oder vielmehr den Polplatten frei wurde, in jeder Zelle 32,3 Gewichtstheile Zink aufgelöst worden waren. Nun aber verhalten sich die Gewichte der chemischen Aequivalente von Wasserstoff und Zink zu einander wie 12,48 zu 403,23 oder wie 1 zu 32,3. Für jedes Aequivalent Wasserstoff also, welches in der Zerlegungszelle entwickelt wird, muß in jeder Zelle der Kette 1 Aeq. Zink aufgelöst werden.

Folgender von Bunsen in Marburg angestellter Versuch mag dies erläutern. Die Thonzelle eines Zinkkohlenbechers wurde mit Kochsalzlösung gefüllt, damit gar kein directer Angriff des amalgamirten Zinkcylinders stattfände. Der Zinkcylinder wurde vor dem Versuche gewogen. Nach Einsetzung desselben in die Kochsalzlösung wurde die Kette mittelst einer Tangentenbussole geschlossen. Die Ablenkung betrug 40^0 12′. Nach 5 Minuten wurde der Strom unterbrochen, und durch eine zweite Wägung des Zinkcylinders ergab sich, daß während dieser 5 Minuten 505 Milligramm Zink aufgelöst worden waren.

Der Reductionsfactor jener Tangentenbussole ist für Marburg 63, woraus sich die Stromstärke während jener 5 Minuten gleich 53,2 ergiebt.

Nun aber wiegt 1 Cubikcentimeter Knallgas unter den oben näher bezeichneten Bedingungen 0,52 Milligramm; wäre also jener Strom in unveränderter Stärke 5 Minuten lang durch ein Voltameter gegangen, so würde er

53,2 × 5 . 0,52 = 138,3 Milligramm Wasser zersetzt haben. Nun aber verhält sich das chemische Aequivalent des Wassers zu dem des Zinkes wie 112,5 zu 406, der Zerlegung von 138,3 Milligrammen Wasser entspricht also die Auflösung von $\frac{138,3 \ . \ 406}{112,5} = 499$ Milligrammen Zink, was mit der beobachteten Auflösung von 505 Milligrammen in der That sehr nahe übereinstimmt.

Nach diesen Bemerkungen ist man nun auch im Stande, die Kosten zu vergleichen, welche bei Säulen von verschiedener Construction nöthig sind, um einen Strom von bestimmter Stärke hervorzubringen. Ist bei einem gegebenen Schließungsbogen z. B. eine Säule von 6 Bunsen'schen Bechern nöthig, so wird für jedes Aequivalent Wasser, welches ein Strom von dieser Stärke in einem Voltameter zu zersetzen vermag, in jedem Becher 1 Aequivalent Zink, 1 Aequivalent Schwefelsäure und 1 Aequivalent Salpetersäure, zusammen also in der ganzen Säule 6 Aequivalent Zink, 6 Aequivalent Schwefel- uud 6 Aequivalent Salpetersäure verzehrt. Wollte man nun dieselbe Stromstärke in demselben Schließungsbogen mit Daniell'schen Bechern hervorbringen, so müßte man die Zahl der zur Säule verbundenen Becher im Verhältniß von 470 zu 800 vermehren, weil sich die elektromotorische Kraft eines Daniell'schen Bechers zu der eines Bunsen'schen verhält, wie 470 zu 800, man müßte also eine Säule von 10 Daniell'schen Bechern anwenden und die Consumtion betrüge dann für die gleiche Stromstärke, wie sie die Bunsen'sche Kette lieferte, 10 Aequivalent Zink, 10 Aequivalent Schwefelsäure und 10 Aequivalent Kupfervitriol. Um denselben Strom mit einer Wollaston'schen Säule hervorzubringen, müßte man 24 Plattenpaare anwenden, deren Gesammtwiderstand gleich ist dem Gesammtwiderstand der 6 Bunsen'schen Becher, in diesem Falle betrüge also die Consumtion 24 Aequivalent Zink + 24 Aequivalent Schwefelsäure.

Hier ist nur die Consumtion in Anschlag gebracht, welche zur Hervorbringung des Stromes erforderlich ist; außer dieser findet aber stets noch eine bedeutende locale Wirkung an den Zinkplatten Statt, welche der Stromstärke nicht zu Gute kommt. Diese läßt sich natürlich nicht berechnen, sie ist um so größer, je stärker die Schwefelsäure ist. Der Nachtheil der localen Wirkung wächst natürlich mit der Zahl der Zellen, er wird also unter sonst gleichen Umständen bedeutender seyn bei Anwendung einer Wollaston'schen Säule, als bei einer Daniell'schen, und bei einer Daniell'schen bedeutender, als bei einer Bunsen'schen.

Wenn derselbe Strom durch 4 Zersetzungszellen geleitet wird, von denen die 1ste Wasser, die 2te Chlorsilber, die 3te Chlorblei, die 4te Chlorzinn, alle aber im flüssigen Zustande, enthält, so verhalten sich die Quantitäten Wasserstoffgas, Silber, Blei und Zinn, welche an den 4 negativen Polen ausgeschieden werden, wie 1 : 108 : 103,6 : 57,9, während an den positiven Polen Sauerstoffgas und Chlor, und zwar im Verhältnisse von 8 : 35,4, ausgeschieden werden.

Aehnliche Thatsachen sind für viele andere zusammengesetzte Körper dargethan worden.

Faraday hat den Satz ausgesprochen, daß binäre Verbindungen, d. h. solche, welche aus zwei Elementen zusammengesetzt sind, nur dann Elektrolyte seyen, wenn 1 Aequivalent des einen Elementes immer nur mit 1 Aequivalent des andern verbunden ist. Dies hat sich jedoch nicht bestätigt; Becquerel z. B. hat gezeigt, daß nicht allein Kupferchlorid ($CuCl$), sondern auch Kupferchlorür (Cu_2Cl) elektrolysirt werde. Dem elektrolytischen Gesetze zufolge zerlegt derselbe Strom, welcher 1 Aequivalent Kupferchlorid elektrolysirt, auch 1 Aequivalent Kupferchlorür. Wird derselbe Strom durch eine concentrirte Lösung des Chlorürs und eine concentrirte Lösung des Chlorids geleitet, so wird an den positiven Polplatten beider Zersetzungszellen gleichviel Chlor entwickelt, an den negativen Polplatten scheidet sich aber aus dem Chlorür doppelt so viel Kupfer ab, als aus dem Chlorid.

Secundäre Action. Nicht in allen Fällen können die durch die Elektro- 81
lyse getrennten Elemente frei aus der Flüssigkeit austreten, sondern häufig tritt der Fall ein, daß sie selbst wieder chemisch auf die Flüssigkeit wirken und so eine secundäre Zersetzung bewirken. Einen derartigen Fall haben wir bereits bei der Elektrolyse der Kochsalzlösung kennen gelernt. Das durch die Elektrolyse ausgeschiedene Natrium kann nicht für sich in der wässerigen Lösung bestehen, es entzieht dem Wasser seinen Sauerstoff und bewirkt dadurch die Entbindung einer entsprechenden Menge Wasserstoffgas. Dieses Wasserstoffgas ist also nicht direct ein Product der Elektrolyse, sondern es ist nur durch eine secundäre Wirkung frei geworden.

Ein sehr interessantes Beispiel von secundärer Action liefert die Elektrolyse einer gesättigten Salmiaklösung. Taucht man Polplatten von Platin in eine solche, so entwickelt sich Wasserstoffgas am negativen Pol; am positiven Pol aber entweicht kein Chlor und wenn die Lösung concentrirt genug ist, auch kein Sauerstoffgas; dagegen bedeckt sich die positive Platinplatte mit gelblichen öligen Tropfen von Chlorstickstoff.

Diese Bildung des Chlorstickstoffs ist offenbar eine secundäre Wirkung. Der Salmiak (Chlorammonium, H_4NCl) wird durch die Elektrolyse in Chlor Cl und Ammonium H_4N zerlegt. Das am negativen Pole auftretende Ammonium H_4N zerfällt sogleich in Wasserstoff H, welches unter Zurücklassung von Ammoniak H_3N entweicht. Das am positiven Pole nascirende Chlor zersetzt aber das Chlorammonium der Lösung unter Bildung von Chlorstickstoff und Salzsäure. Wenn nämlich zu Chlorammonium H_4NCl noch 6 Aequivalente Chlor, also 6 Cl hinzutreten, so bildet sich 4 HCl (4 Aequivalente Salzsäure) und Chlorstickstoff, NCl_3.

Der Sauerstoff, welcher durch den galvanischen Strom an der positiven Polplatte ausgeschieden wird, hat im Augenblicke seiner Entstehung sehr stark oxydirende Eigenschaften, so daß er Verbindungen bildet, welche der freie Sauerstoff sonst nicht direct eingeht. So liefert z. B. die Elektrolyse der Salzsäure, besonders wenn ihr ein paar Tropfen Schwefelsäure zugesetzt sind, ein Gemenge

freier Chlorsäure und Ueberchlorsäure, während gleichzeitig freies Chlorgas am + Pol und Wasserstoffgas am — Pol in Masse entweichen. Es haben sich also hier Chlor und Sauerstoff im status nascens direct mit einander vereinigt.

Kolbe hat die oxydirenden Eigenschaften des elektrolysirten Sauerstoffs weiter verfolgt und namentlich auch bei organischen Substanzen interessante Zersetzungen auf diesem Wege erhalten. So erhielt er z. B. durch Einwirkung des Stromes auf eine Lösung von valeriansaurem Kali in Folge der oxydirenden Wirkung des Sauerstoffs am positiven Pole unter Ausscheidung von Kohlensäure einen eigenthümlichen ölartigen Körper, den er Valyl nennt und dessen Zusammensetzung $C_8 H_9$ ist. Das reine Valyl ist in Alkohol und Aether, aber nicht in Wasser löslich, siedet bei 108° C., ist sehr entzündlich und hat ein auffallend niedriges specifisches Gewicht, nämlich 0,694.

Wir können hier diesen Gegenstand nicht weiter verfolgen. Näheres darüber in meinem »Bericht u. s. w.« Seite 442.

Taucht man die beiden aus Platin bestehenden Polplatten in eine Auflösung von Bleizucker, so bildet sich unter dem oxydirenden Einflusse des am positiven Pole elektrolysirten Sauerstoffs braunes Bleihyperoxyd, welches sich auf der positiven Polplatte absetzt.

Auf ähnliche Weise und aus demselben Grunde setzt sich am positiven Pole Manganhyperoxyd ab, wenn die Flüssigkeit aufgelöstes Manganoxydul enthält.

Das Bleihyperoxyd ist noch mehr elektronegativ als Platin, so daß eine mit Bleihyperoxyd überzogene Platinplatte sich elektronegativ gegen eine reine Platinplatte verhält. Eine Combination von Bleihyperoxyd mit Zink muß demnach einen Rheomotor geben, dessen elektromotorische Kraft noch größer ist, als die eines Bunsen'schen oder Grove'schen Bechers. Allein ein solcher Rheomotor ist sehr vergänglich. Das Wasserstoffgas, welches sich an der negativen Polplatte ausscheidet, entzieht dem Hyperoxyd einen Theil seines Sauerstoffs, so daß es in kurzer Zeit ganz verzehrt wird.

82 **Theorie der Elektrolyse der Salzlösungen.** Verfolgt man die elektrolytische Zerlegung von Salzlösungen genauer, so stößt man alsbald auf Umstände, welche auf den ersten Anblick mit dem Faraday'schen Gesetze von der festen elektrolytischen Action in Widerspruch zu stehen scheinen. Füllt man nämlich einmal ein Voltameter mit verdünnter Schwefelsäure, das anderemal mit der Lösung eines Alkalisalzes, z. B. mit einer Lösung von Glaubersalz, so erhält man in beiden Fällen bei gleicher Stromstärke auch gleiche Mengen von Knallgas, im letzteren Fall aber neben der Wasserzersetzung auch noch eine Zerlegung des Salzes, indem sich die Säure am positiven, die Basis am negativen Pole findet.

Daniell theilte den Zersetzungsraum eines Voltameters durch eine poröse, zwischen den beiden Polplatten angebrachte Scheidewand in zwei Theile, und füllte beide Hälften mit einer Lösung von schwefelsaurem Natron. Ein durchgeleiteter Strom lieferte die der Stromstärke entsprechende Menge an Ga-

sen, die Untersuchung der in den beiden Abtheilungen enthaltenen Flüssigkeit ergab aber, daß auf 1 Aequivalent zerlegten Wassers auch sehr nahe 1 Aequivalent Schwefelsäure in der positiven, und nahe 1 Aequivalent Natron in der negativen Zelle ausgeschieden worden war.

Außer dem Voltameter war auch noch eine Röhre mit geschmolzenem Chlorblei in den Schließungsbogen eingeschaltet gewesen, und es ergab sich das merkwürdige Resultat, daß auf 1 Aequivalent zersetzten Chlorbleis in dem Voltameter 1 Aequivalent Wasser und außerdem noch 1 Aequivalent Salz zerlegt worden war.

Nach der gewöhnlichen Betrachtungsweise erscheint also in der Salzlösungszelle eine doppelt so große chemische Wirkung als diejenige ist, welche derselbe Strom in der Chlorbleizelle hervorbrachte; mit dem Gesetz der festen elektrolytischen Action steht das in directem Widerspruch.

Um diesen Widerspruch zu heben, betrachtet Daniell die Constitution der Salze anders, als es gewöhnlich geschieht; er betrachtet z. B. das schwefelsaure Natron nicht als zunächst gebildet durch die Verbindung von Säure und Basis, sondern er nimmt an, der elektronegative Bestandtheil des Salzes sey 1 Aequivalent Schwefel mit 4 Aequivalenten Sauerstoff, während der positive Bestandtheil dieses Salzes nur Natrium ist.

Gemäß dieser Ansicht wäre also

Schwefelsaures Natron	nicht	$SO_3 . NaO$,	sondern	$SO_4 . Na$,
Schwefelsaures Kali	»	$SO_3 . KO$	»	$SO_4 . K$,
Salpetersaures Kali	»	$NO_5 . KO$	»	$NO_6 . K$,
Phosphorsaures Natron	»	$PO^5/_2 . NaO$	»	$PO^7/_2 . Na$.
Kupfervitriol	»	$\dot{S}O_3 . CuO$	»	$SO_4 . Cu$.

Geht der Strom durch die Auflösung eines solchen Salzes, so wird nicht das Wasser, sondern das Salz in die eben bezeichneten Bestandtheile zerlegt. Bei der Elektrolyse des Glaubersalzes tritt also an der positiven Polplatte als directe Wirkung der Elektrolyse SO_4 auf, von dem sich aber sogleich O abscheidet, um gasförmig zu entweichen und SO_3 zurückzulassen, während das am andern Pol ausgeschiedene Na den Sauerstoff des Wassers an sich zieht, und so für jedes Aequivalent Na ein Aequivalent Wasserstoff entbindet, während das durch secundäre Wirkung entstandene NaO in der Flüssigkeit gelös't bleibt.

Ganz ebenso geht der Proceß bei der Elektrolysation des Kupfervitriols vor sich, mit dem einzigen Unterschiede, daß das am negativen Pol reducirte Kupfer sich nicht sogleich wieder oxydirt und dadurch Wasserstoff frei macht, sondern sich in metallischer Form in den negativen Pol ansetzt.

Daniell schlägt auch eine dieser theoretischen Ansicht von der Constitution der unorganischen Salze entsprechende neue Nomenclatur vor; so nennt er die Verbindung SO_4 Oxysulphion, NO_6 Oxynitrion u. s. w. Demgemäß ist

Schwefelsaures Kupferoxyd = Kupferoxysulphion,
Salpetersaures Kali = Kaliumoxynitrion
u. s. w.

Die Versuche mit concentrirter Salmiaklösung stimmen ganz mit der Ansicht überein, daß der Salmiak Chlor-Ammonium sey, also zusammengesetzt aus dem einfachen Anion (negativer Bestandtheil) Cl (Chlor) und dem zusammengesetzten Kathion (positiver Bestandtheil) NH_4 (Ammonium). Wenn der positive Pol aus Zinn besteht, so wird er aufgelöst, während am negativen Pol Wasserstoff und Ammoniak frei wird, welche durch das Zerfallen von NH_4 in NH_3 und H entstehen.

Das wässrige schwefelsaure Ammoniak ist demgemäß Ammonium-Oxysulphion, $SO_4.NH_4$.

Diese Ansichten führen dann auch zu der in der Chemie schon mehrfach besprochenen Verallgemeinerung der Theorie der Wasserstoffsäuren, der zu Folge die wasserhaltigen Sauerstoffsäuren, wie die Wasserstoffsäuren, binäre Verbindungen von Wasserstoff mit einem Radikal sind; so wäre also die wässrige Schwefelsäure $SO_4.H$.

Zwischen Schwefelsäurehydrat $SO_4.H$ und schwefelsaurem Natron $NO_4.Na$ bestände demnach dieselbe Beziehung wie zwischen Salzsäure ClH und Kochsalz ClNa; das H ist nur durch Na ersetzt.

Mit dieser Ansicht wollen nun die oben erwähnten Versuche über die Elektrolyse der verdünnten Schwefelsäure noch nicht recht harmoniren.

Wenn das Schwefelsäurehydrat wirklich Wasserstoffoxysulphion ist, so muß es bei der Elektrolyse in H und SO_4 zerlegt werden; das am positiven Pol freiwerdende Oxysulphion zerfällt aber sogleich in SO_3 und O, welch letzterer Bestandtheil gasförmig entweicht, während SO_3 in der Flüssigkeit zurückbleibt; es müßte also für jedes Aequivalent Wasserstoffgas, welches an der negativen, und für jedes Aequivalent Sauerstoff O an der positiven Elektrode frei wird, ein Aequivalent Schwefelsäure SO_3 am positiven Pol auftreten; den Versuchen Daniell's zufolge findet sich aber nach der Elektrolyse in der positiven Zelle nur $\frac{1}{4}$ Aequivalent SO_3 mehr als vorher.

Daniell erklärt dies dadurch, daß er die verdünnte Schwefelsäure als ein zusammengesetztes Elektrolyt, bestehend aus Wasser und Schwefelsäurehydrat, betrachtet. Der Strom theilt sich zwischen beiden so, daß $\frac{3}{4}$ durch Wasser, $\frac{1}{4}$ durch Schwefelsäurehydrat geleitet werde, und man erhält also

am positiven Pol	am negativen Pol
$\frac{3}{4}$ Aeq. O	$\frac{3}{4}$ Aeq. H
$\frac{1}{4}$ Aeq. SO_4	$\frac{1}{4}$ Aeq. H.

und durch Zerfallen von SO_4

am positiven Pol	am negativen Pol
$\frac{3}{4}$ Aeq: O	$\frac{3}{4}$ Aeq. H
$\frac{1}{4}$ Aeq. SO_3 + $\frac{1}{4}$ Aeq. O	$\frac{1}{4}$ Aeq. H
$\frac{1}{4}$ Aeq. SO_3 + 1 Aeq. O	1 Aeq. H.

ganz wie es der Versuch gezeigt hat.

Bei der Elektrolyse von kohlensaurem Kali und Natron entwickelt sich kohlensaures Gas und Sauerstoffgas an der positiven Polplatte, während an der negativen Kali oder Natron in der Flüssigkeit frei wird und Wasserstoffgas entweicht.

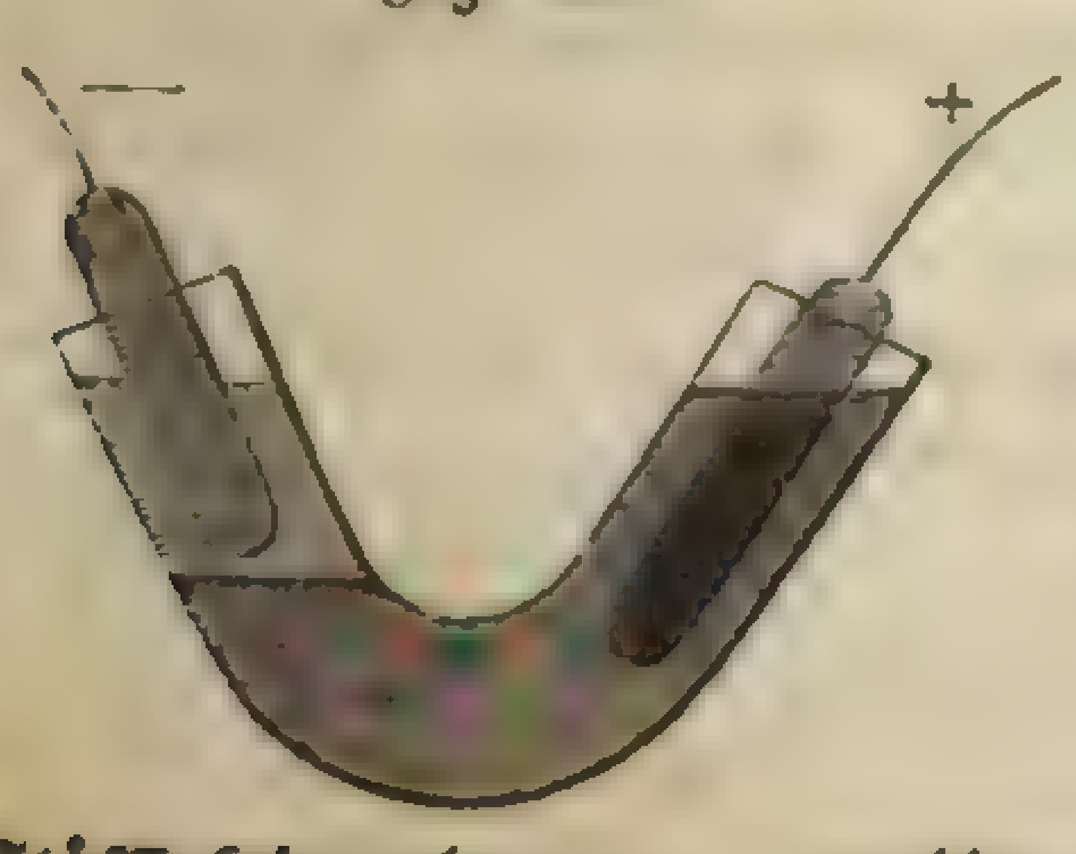
Stellt man eine mit Glaubersalzlösung gefüllte poröse Thonzelle in ein mit derselben Flüssigkeit gefülltes Gefäß, taucht man die negative Polplatte in die Thonzelle, die andere in die äußere Flüssigkeit, so wird, nachdem der Strom einige Zeit hindurchgegangen ist, die negative Zelle reicher an Natron, die äußere Flüssigkeit reicher an Schwefelsäure seyn, als es vor dem Versuch der Fall war. Es ist also offenbar Natrium in die negative Zelle übergewandert. Anders verhält sich eine Lösung von Kupfervitriol, wenn man sie demselben Versuch unterwirft. Am negativen Pol schlägt sich Kupfer nieder, die Lösung der negativen Zelle wird aber dabei an Kupfer immer ärmer; in die positive Abtheilung geht Schwefelsäure über, aber der Kupfergehalt bleibt hier unverändert. Hier wandert also kein Kupfer aus der positiven in die negative Zelle.

Es ist dies nicht etwa dem Einfluß der Scheidewand zuzuschreiben. Man fülle eine Uförmig gebogene Röhre mit einer Lösung von Kupfervitriol und tauche kupferne Polplatten in die Schenkel, so sieht man alsbald die Flüssigkeit im negativen Schenkel heller, die am positiven dunkler werden.

Dies scheint nun freilich darauf hinzudeuten, daß die Daniell'sche Theorie auf die Elektrolyse des schwefelsauren Kupferoxyds nicht anwendbar ist, denn wenn SO_4 Cu in der angegebenen Weise elektrolysirt würde, so müßte Cu nothwendig dem negativen Pole zuwandern. Wahrscheinlicher ist es anzunehmen, daß das schwefelsaure Wasser elektrolysirt wird, und daß der am negativen Pole ausgeschiedene Wasserstoff erst durch secundäre Wirkung das Kupfer reducirt, indem er dem Kupferoxyd den Sauerstoff entzieht, um sich wieder zu Wasser zu oxydiren.

Schon Faraday hat gefunden, daß wenn der positive Pol in einer concentrirten Lösung von Bittersalz sich befindet, der negative aber in Wasser, welches auf dem Bittersalz schwimmt (man kann den Versuch am einfachsten auf die Fig. 227 angedeutete Weise anstellen), daß alsdann bei Durchleitung eines sehr kräftigen Stomes Bittererde an der Berührungsfläche beider Flüssigkeiten ausgeschieden wird. Im Wasser wandert der Sauerstoff gegen den + Pol hin, in der Bittersalzlösung aber das Magnesium gegen den — Pol; wo sich beide an der Gränzfläche der Flüssigkeiten begegnen, verbinden sie sich zu Bittererde, welche ausgeschieden wird.

Fig. 227.



Aehnliche Beobachtungen hat auch Daniell gemacht. Ist z. B. eine Lö-

sung von Kupfervitriol durch eine poröse Scheidewand von einer verdünnten Aetzkalilösung getrennt, und wird alsdann in die Kalilösung die negative, in die Lösung des Kupfervitriols die positive Polplatte einer kräftigen Säule eingetaucht, so entwickelt sich Wasserstoff an der negativen, Sauerstoff an der positiven Polplatte, während die Scheidewand, von der etwas Gas aufsteigt, sich reichlich mit metallischem Kupfer bekleidet, in welches Kupferoxyd und blaues Kupferoxydhydrat eingesprengt ist.

Noch eine die Elektrolyse manchmal begleitende Erscheinung muß hier erwähnt werden, nämlich die Anhäufung von Flüssigkeit am negativen Pol.

Befindet sich reines Wasser innerhalb und außerhalb einer porösen Thonzelle, taucht man den negativen Pol einer vielplattigen Säule in die Thonzelle, den positiven in das Wasser außerhalb, so findet zwar keine wirkliche Elektrolyse Statt, aber das Wasser steigt innerhalb der negativen Zelle, während sein Spiegel außerhalb sinkt. — Säuert man das Wasser durch etwas Schwefelsäure an, so hört die Erscheinung auf; daß sie aber nicht eine Folge des schlechten Leitungsvermögens ist, geht daraus hervor, daß ein sehr bedeutendes Steigen der Flüssigkeit in der negativen Zelle stattfindet, wenn sich innerhalb und außerhalb eine Lösung von Glaubersalz oder phosphorsaurem Natron befindet.

83 **Praktische Anwendungen der Elektrolyse.** Nachdem de la Rive bereits im Jahr 1836 darauf aufmerksam gemacht hatte, daß das in der Daniell'schen Kette niedergeschlagene Kupfer von dem Kupfer der Kette ablösbar und ein mikroskopisch genauer Abdruck desselben sey, so kamen Jakobi und Spencer, wie es scheint fast gleichzeitig, auf den Gedanken, dies praktisch nutzbar zu machen, was denn auch den entschiedensten Erfolg hatte.

Jakobi nannte diese Methode, mittelst elektrolytisch niedergeschlagenen Kupfers den Abdruck einer beliebigen Form darzustellen, »Galvanoplastik«, ein Name, welcher allgemein adoptirt wurde.

Um einen galvanoplastischen Abdruck einer metallischen Form, z. B. einer Münze zu machen, hat man sie nur als negative Polplatte eines schwach geladenen Daniell'schen oder Bunsen'schen Bechers, der positiven Polplatte gegenüber, in eine concentrirte Lösung von Kupfervitriol zu tauchen. Es ist jedoch nicht einmal nöthig, eine vom Elektromotor gesonderte Zersetzungszelle anzuwenden, indem die metallische Form selbst die Rolle des elektronegativen Metalls in der Daniell'schen Kette übernehmen kann. Fig. 228 stellt einen derartigen Apparat dar. *ab* ist ein oben offenes, etwa 6—8 Zoll im Durchmesser haltendes Glasgefäß. In dieses hängt ein zweites engeres Glasgefäß *cd* von oben hinein, welches unten mit einer Thierblase zugebunden ist. Etwas über der Mitte ist um dieses engere Glas-

Fig. 228.



gefäß ein Draht fest herumgewunden, der in drei Armen ausläuft, welche, auf dem Rande des äußern Glasgefäßes aufliegend, das innere tragen, so daß die Blase noch 1,5 bis 2 Zoll hoch über dem Boden des größeren Gefäßes sich befindet. Das innere Gefäß wird nun mit sehr verdünnter Schwefelsäure, der Zwischenraum zwischen dem inneren und dem äußeren Cylinder mit einer Lösung von Kupfervitriol gefüllt. In der verdünnten Schwefelsäure ruht auf einem Kreuze von Holzstäbchen ein Zinkblock, an welchen ein Kupferdraht gelöthet ist, welcher den Zinkblock mit dem Quecksilbernäpfchen *q* verbindet. Aus dem Quecksilber dieses Näpfchens geht ein zweiter Kupferdraht zu der in der Kupfervitriollösung liegenden Form, welche nothwendig aus einem Stoffe bestehen muß, welcher mehr elektronegativ ist als Zink.

Eine solche Form kann man sich verschaffen, wenn man von der zu vervielfältigenden Münze einen Abguß von der leichtflüssigen Rose'schen Metalllegirung macht. Noch leichter sind Formen von Wachs und Stearin zu machen. Man schmilzt diese Körper und gießt die Flüssigkeit auf die mit einem Papierrande versehene Münze; man erhält auf diese Weise eine sehr schöne Form. Diese Form ist aber nicht leitend, sie wird es erst dadurch, daß man die Fläche der Form, auf welcher sich das Kupfer absetzen soll, mit einer sehr dünnen zarten Schicht von Graphit oder von Kupferbronce überzieht. Dieser Ueberzug, welcher mit Hülfe eines zarten Pinsels gemacht wird, benimmt der Form durchaus nichts an Reinheit und Schärfe. Die Form wird in die Kupfervitriollösung so gelegt, daß die leitend gemachte Oberfläche nach oben gekehrt ist. Der Kupferdraht braucht mit der feinen Graphitschicht der Form nur eben in Berührung zu seyn.

Derjenige Theil des Kupferdrahtes, welcher in die Lösung von Kupfervitriol eingetaucht ist, muß mit Schellack oder Siegellack überzogen seyn, weil sich sonst auch auf diesem Drahte metallisches Kupfer absetzt; nur da, wo er auf die Form aufgesetzt ist, muß er metallisch seyn.

Der Strom, welcher durch den Apparat circulirt, ist nur schwach; das Kupfer setzt sich langsam ab, und zwar setzt es sich zunächst um den Kupferdraht an; man muß deshalb von Zeit zu Zeit den Draht an einer anderen Stelle der Form auffsetzen. Je nachdem der Strom stärker oder schwächer ist, ist in einen oder mehreren Tagen die Kupferschicht dick genug zum Abnehmen. Bei schwächeren Strömen wird der Kupferniederschlag am gleichförmigsten; deshalb darf die Flüssigkeit, in welcher sich der Zinkblock befindet, nur schwach sauer seyn.

Je mehr Kupfer sich abgesetzt hat, desto heller wird die Vitriollösung. Wenn es nöthig ist, muß man die verbrauchte Lösung durch neue ersetzen.

Manchmal ist es vortheilhafter, die Lösung des Kupfervitriols mit der Form in das innere Gefäß, die Säure mit dem Zinkblocke aber in das äußere zu bringen.

Man hat in neuerer Zeit sehr wichtige Anwendungen von der Galvanoplastik gemacht; es ist gelungen, auf diese Weise Holzschnitte mit aller Schärfe des Originals zu vervielfältigen, wodurch es möglich wird, von einer und derselben

Figur beliebig viele Abdrücke zu erhalten, ohne daß die späteren den früheren nachstehen. Die Holzschnitte dieses Werkes sind mit solchen Kupfertypen gedruckt.

Eine gestochene Kupferplatte hält bekanntlich nicht sehr viel Abdrücke aus, ohne bedeutend zu verlieren; die späteren Abdrücke sind immer schlechter als die ersten; daher der Werth der sogenannten avant la lettre. Dadurch ist der Stahlstich so sehr in Aufnahme gekommen, weil eine Stahlplatte ungleich mehr Abdrücke aushalten kann. Für die Kunst ist dies von entschiedenem Nachtheile, weil die Härte dieses Materials dem Künstler sehr große technische Schwierigkeit entgegensetzt, welche es ihm unmöglich machen, auf Stahl ein so vollendetes Kunstwerk zu liefern, wie auf Kupfer. Nun hat man aber gelernt, selbst große Kupferplatten auf galvanoplastischem Wege zu vervielfältigen, und zwar so, daß die Abdrücke der Copien, deren man beliebig viele machen kann, denen der Originalplatte ganz gleich sind.

Endlich hat Kobell in München ein Verfahren angegeben, um in Tuschmanier gemalte Bilder durch Galvanoplastik zu vervielfältigen. Auf eine übersilberte Kupferplatte malt man mit einer Farbe, welche dadurch bereitet wird, daß man Oker oder Coaks mit einer Auflösung von Wachs und Terpentinöl anreibt und etwas Dammarä-Firniß zusetzt. Mit dieser Farbe malt man auf die Platte so, daß die hellsten Lichter frei bleiben und die Farbe um so dicker aufgetragen wird, je dunkler der Schatten seyn soll. Sobald das Bild fertig gemalt ist, wird es mit Hülfe eines zarten Pinsels mit feingepulvertem Graphit überzogen und dann in den galvanoplastischen Apparat eingesetzt. Allmälig schlägt sich das Kupfer auf die gemalte Platte nieder und bildet eine zweite Kupferplatte, auf welcher alle Lichtparthieen der ersteren eben, die Schattenparthieen aber vertieft sind; diese Platte liefert nun, wie eine gestochene Kupferplatte behandelt, Abdrücke, welche einer getuschten Zeichnung ähnlich sehen. Man hat es in dieser Manier schon zu großer Vollkommenheit gebracht, und es läßt sich erwarten, daß sie für die Kunst noch von großer Wichtigkeit werden wird.

Ebenso, wie sich aus einer Auflösung von Kupfervitriol auf galvanischem Wege Kupfer am negativen Pole der Kette absetzt, ebenso setzen sich auch andere Metalle, wie Gold, Silber, Platin, aus einer geeigneten Auflösung (gewöhnlich eine Lösung von Cyankalium mit Chlorgold oder Chlorsilber in Wasser) am negativen Pole ab, und man kann auf diese Weise andere Metalle vergolden, versilbern u. s. w. Näheres darüber würde uns hier zu weit führen.

Die Niederschläge von Bleihyperoxyd und Manganhyperoxyd, welche, wie wir auf Seite 218 gesehen haben, auf der positiven Platte sich absetzen, zeigen oft die schönsten Farben, wenn die Schicht noch dünn genug ist. Nobili hat zuerst auf diesem Wege auf Metallplatten Farbenringe dargestellt, die nach ihm die Nobili'schen Ringe genannt werden. Man hat nun dies Verfahren in neuerer Zeit sehr vervollkommnet und diese Farben-

ringe auch in der Praxis zur Verzierung von mancherlei Metallwaaren, z. B. von Tischglocken u. s. w. angewandt.

Eine Bleilösung, aus welcher man besonders prachtvolle Farbenniederschläge erhält, wird nach Becquerel's Angabe bereitet, indem man feingepulverte Bleiglätte in einer Aetzkalilösung von 20 bis 22 Grad Beaumé kocht. — In diese Flüssigkeit wird nun die den positiven Pol einer Säule von ungefähr 6 Daniell'schen Bechern bildende Metallplatte eingetaucht, und ihr gegenüber der aus einem Platindraht oder einer kleinen Platinplatte bestehende negative Pol der Säule gehalten. Die Farben entwickeln sich sehr rasch. Am negativen Pol scheidet sich metallisches Blei ab.

Näheres über die praktischen Anwendungen der Elektrolyse findet man, von Herrn Professor Frick bearbeitet in meinem »Bericht über die neuesten Fortschritte der Physik. Erster Band«. Seite 448 bis 472.

Ein Metall, welches an und für sich von einer Säure oder irgend einer andern Flüssigkeit angegriffen wird, kann dadurch, daß man es mit einem noch mehr elektropositiven Metalle so in Berührung bringt, daß es den negativen Pol einer einfachen Kette bildet, vor dem Anfressen geschützt werden.

So wird, wenn eine Zink- und Kupferplatte sich in einer verdünnten Säure berühren, das Zink schneller, das Kupfer weniger schnell oxydirt, als es außerdem der Fall seyn würde. Für dieses Princip geben die Versuche Davy's über die Erhaltung des Kupferbeschlags der Schiffe ein schönes Beispiel. Eine Kupferplatte in Seewasser eingetaucht ist einem schnellen Anfressen unterworfen; wenn aber das Kupfer in Berührung mit Zink oder Eisen ist, so werden diese Metalle aufgelöst, das Kupfer aber dadurch geschützt. Davy hat gefunden, daß ein Stück Zink, so groß wie der Kopf eines kleinen Nagels, hinreicht, um 40 bis 50 Quadratzoll Kupfer zu schützen.

Leider hat sich gezeigt, daß diese schöne Methode, das Kupfer rein zu erhalten, praktisch nicht angewendet werden kann, weil das Kupfer bis zu einem gewissen Grade angefressen seyn muß, wenn es nicht durch Anhängen von Seegras und Schalthieren verunreinigt werden soll.

Dasselbe Princip hat v. Althaus angewandt, um das Anfressen an eisernen Pfannen, in welchen die Salzsole versotten wird, zu verhindern. Hier durfte aber das schützende Zink nicht in den Pfannen selbst angebracht werden, weil sonst der gebildete Zinkvitriol sich in der Salzlösung verbreitet hätte. Er schnitt deshalb die Ecken der Pfannen durch ein Brett ab, goß die so gebildeten Kammern, deren Boden durch die Eisenplatte gebildet wurden, mit Zink aus. So war das Zink mit dem Eisen in metallischer Berührung, und die Flüssigkeit sickerte in hinlänglicher Menge durch das Holz zum Zink durch, um die Kette zu schließen; der gebildete Zinkvitriol konnte aber die Salzlösung nicht verunreinigen.

Auf diese Weise wurde es möglich, die Verdampfung bei geringerer Temperatur vorzunehmen, wodurch eine bedeutende Ersparung an Brennmaterial erzielt wurde.

Elektrochemische Theorie. Die bisher besprochenen Erscheinungen zeigen uns merkwürdige Beziehungen zwischen den chemischen und elektrischen Kräften. Schon früher hatte man unbestimmt vermuthet, daß bei den chemischen Erscheinungen elektrische Kräfte thätig seyn möchten; man ging jedoch erst näher auf diese Vorstellung ein, als die Wasserzersetzung durch die Volta'sche Säule bekannt geworden war. Namentlich waren es Davy und Berzelius, welche dieselbe ausbildeten; sie stellten die elektrochemische Theorie auf, nach welcher die Grundursache der chemischen Verbindung in einer elektrischen Anziehung zu suchen ist. Wenn es auch noch nicht vollständig bewiesen ist, daß chemische Affinität und elektrische Anziehung völlig identisch sind, so muß doch zugegeben werden, daß diese Theorie als ein gemeinsames Band viele Thatsachen auf eine Weise verknüpft, welche der Erfahrung keineswegs widerspricht.

So wie Zink und Kupfer, in Berührung gebracht, entgegengesetzt elektrisch werden, so werden, nach der elektrochemischen Theorie, die Atome je zweier Elemente entgegengesetzt elektrisch, wenn sie mit einander in Berührung kommen; kurz, alle Elemente sind nach der oben, Seite 137, angegebenen Bedeutung Glieder der Spannungsreihe. Die äußersten Glieder dieser vollständigen Spannungsreihe sind Sauerstoff und Kalium, und zwar bildet Sauerstoff das negative, Kalium das positive Ende. Folgendes ist die vollständige Spannungsreihe:

—

Sauerstoff	Osmium
Schwefel	Gold
Selen	Iridium
Tellur	Rhodium
Stickstoff	Platin
Chlor	Palladium
Brom	Quecksilber
Jod	Silber
Fluor	Kupfer
Phosphor	Uran
Arsenik	Wismuth
Kohlenstoff	Zinn
Chrom	Blei
Molybdän	Cerium
Bor	Lanthan
Vanadin	Yttrium
Wolfram	Kobalt
Antimon	Nickel
Tantal	Eisen
Titan	Cadmium
Silicum	Zink
Osmium	Wasserstoff

Wasserstoff	Calcium
Mangan	Strontium
Zirconium	Barium
Aluminium	Lithium
Thorium	Natrium
Beryllium	Kalium
Magnesium	+

In dieser Reihe sind alle einfachen Stoffe enthalten, und jedem ist seine Stelle angewiesen, obgleich in dieser Beziehung noch manche Zweifel herrschen, und die Stellung der meisten Körper in der Spannungsreihe nur ungefähr, aber nicht genau bestimmt ist. Bei den wenigsten Körpern ist diese Stellung durch directe Versuche ermittelt; für die meisten hat man sie aus ihrem chemischen Verhalten zu erschließen gesucht.

Nach der elektrochemischen Theorie sind die Atome der Elemente nicht an und für sich elektrisch, sie werden es erst in Berührung mit anderen, und so kommt es denn, daß ein und derselbe Körper bald positiv, bald negativ elektrisch werden kann. So bildet z. B. Schwefel in Verbindung mit Sauerstoff das elektropositive, in Verbindung mit Wasserstoff das elektronegative Element.

Wir haben gesehen, daß zwei heterogene Metallplatten, in Berührung gebracht, entgegengesetzt elektrisch werden, daß aber der größte Theil der entwickelten Elektricitäten an der Berührungsfläche gebunden bleibt; so auch bei chemischen Verbindungen. Wenn z. B. ein Sauerstofftheilchen und ein Wasserstofftheilchen in Berührung kommen, wird das erstere —, das letztere + elektrisch, die beiden Elektricitäten ziehen sich nun an und binden sich wegen der großen Nähe fast vollständig. Wenn aber auch noch etwas freie $+ E$ auf dem einen und $- E$ auf dem andern Theilchen ist, so kann die chemische Verbindung doch durchaus keine Zeichen freier Elektricität geben, weil die positiven und negativen Theilchen gleichförmig vertheilt sind und man, wo man auch den Körper berühren mag, eben so viel positive als negative Theilchen berührt.

Zunächst verbinden sich die einfachen Stoffe, immer je zwei, zu binären Verbindungen. Die zusammengesetzten Körper, wie die Sauerstoff-, Schwefel- und Chlorverbindungen zeigen unter sich ein ähnliches Verhalten, wie die einfachen Stoffe; diejenigen binären Verbindungen der einfachen Elemente, Oxyde, Sulfüre, Chlorüre u. s. w., welche sich durch negativ elektrische Eigenschaften charakterisiren und zugleich fähig sind, Verbindungen einer höheren Ordnung einzugehen, werden Säuren genannt; diejenigen, welche in ihren weiteren Verbindungen die Rolle des elektropositiven Bestandtheils übernehmen, nennt man Salzbasen.

Der Charakter einer Säure wird sich im Allgemeinen um so stärker ausdrücken, je näher ihre Elemente dem negativen Ende der Spannungsreihe liegen; daher ist die Schwefelsäure die stärkste aller Säuren. Der Sauerstoff bildet Säuren mit den in der oben mitgetheilten Spannungsreihe zu oberst stehenden Körpern, Basen mit den am positiven Ende stehenden Elementen, und in der That ist Kali die stärkste aller Basen.

Wenn ein und derselbe Körper sich in mehreren Verhältnissen mit Sauerstoff verbindet, so wird die Verbindung um so mehr elektronegativ werden, sie wird um so weniger basische und um so mehr saure Eigenschaften annehmen, je mehr das elektronegative Element, der Sauerstoff, vorherrscht. So bildet 1 Aeq. Mangan, verbunden mit 1 Aeq. Sauerstoff, das Manganoxyd, welches basische Eigenschaften hat, während 1 Aeq. Mangan + 3 Aeq. Sauerstoff die Mangansäure bilden.

Die elektrochemische Theorie reicht in ihrem jetzigen Umfange freilich noch nicht aus, um alle chemischen Erscheinungen vollständig zu erklären, aber die auf sie gegründete Classification der Körper stimmt mit dem Verhalten derselben recht gut überein und ist sehr geeignet, von den chemischen Gesetzen eine klare Ansicht zu geben.

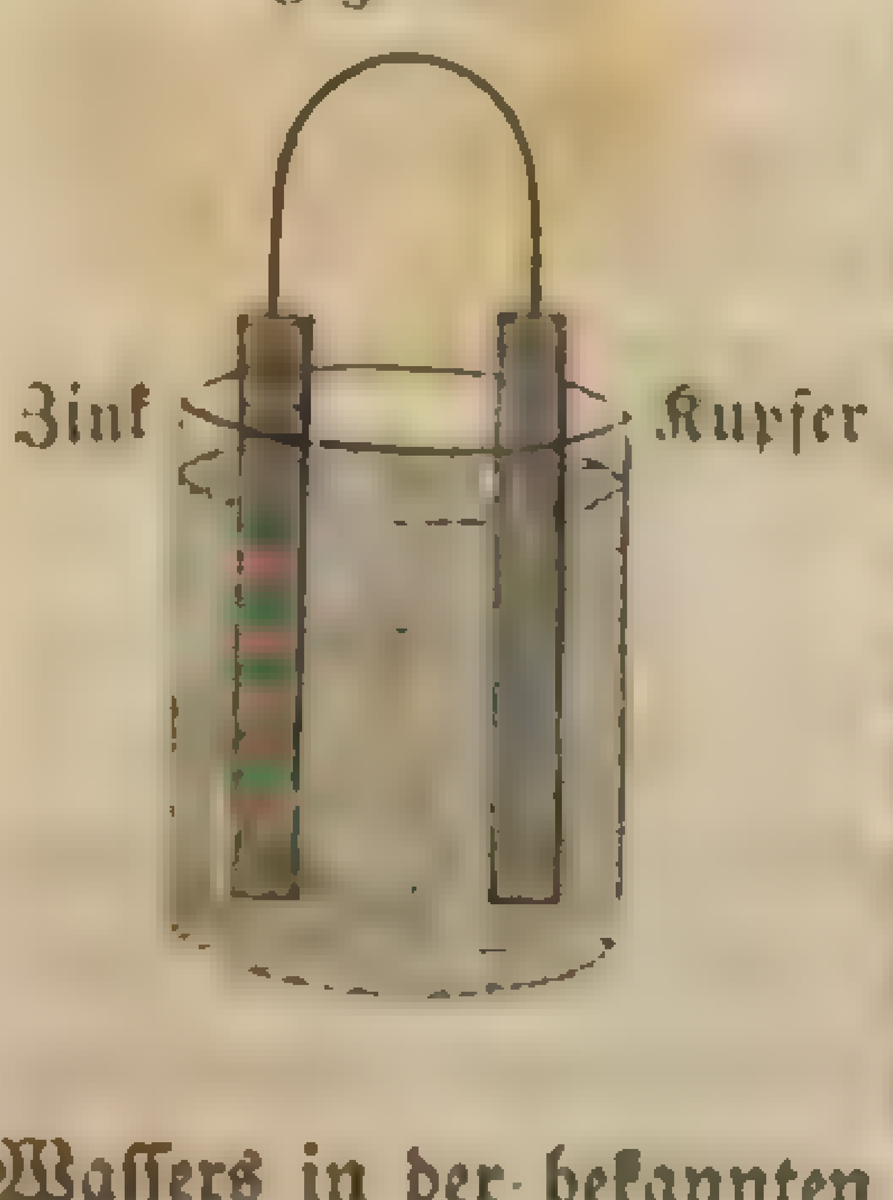
85 **Quelle der galvanischen Elektricität.** Ueber die Quelle der Elektricität, welche die galvanischen Apparate durchströmt, ist viel gestritten worden; zwei Theorien stehen einander gegenüber, von denen die eine den nicht ganz passenden Namen der Contacttheorie trägt, während die entgegenstehende Theorie als chemische Theorie bezeichnet wird.

Wir sind bisher der Contacttheorie gefolgt. Dieselbe geht von der Annahme aus, daß wenn je zwei heterogene Körper mit einander in Berührung gebracht worden, dieselben in einen elektrischen Gegensatz treten, indem der eine positiv, der andere negativ elektrisch wird. Diese Elektricitätserregung zeigt sich im Allgemeinen am stärksten bei Berührung verschiedenartiger Metallplatten; sie tritt aber auch auf, wenn gleich meistens schwächer, wenn Metalle mit leitenden Flüssigkeiten, ja wenn solche unter sich in Berührung konmen.

Die Leiter, welche bei gegenseitiger Berührung elektromotorisch wirken, müssen aber in zwei Klassen getheilt werden. Die Leiter der ersten Klasse folgen den Gesetzen der Spannungsreihe, was bei den Leitern zweiter Klasse, den Elektrolyten, nicht der Fall ist. Letztere können auch den Strom nur in dem Maaße leiten, als sie von ihm zersetzt werden.

Wird eine Zink- und eine Kupferplatte in ein Gefäß mit Wasser getaucht, Fig. 229, und außerhalb durch einen Kupferdraht verbunden, so würde, wenn

Fig. 229.



das Wasser zwischen den beiden Platten ein vollkommener Isolator wäre, ein ähnliches Verhältniß eintreten, wie zwischen den beiden Belegungen einer Leidner Flasche. Eine Strombildung wäre nicht möglich. In Folge der Beweglichkeit der Wassertheilchen tritt aber alsbald die bekannte Polarisation ein, indem sich die Sauerstoffpartikeln dem Zink, die Wasserstoffpartikeln dem Kupfer zuwenden. Bei diesem Polarisationszustande hat es aber sein Bewenden, es findet noch keine Strombildung Statt, bis die elektrische Spannung hinreichend groß genug geworden ist, um die Trennung der Elemente des Wassers in der bekannten Weise zu bewirken.

An der Berührungsstelle zwischen Kupfer und Zink kann nur dann eine fortdauernde Elektricitätsentwickelung stattfinden, wenn von der Zinkplatte fortwährend die positive, von der Kupferplatte fortwährend die negative Elektricität abgeführt werden. Diese Rolle nun übernehmen die Elemente des Wassers, welche zwischen den beiden Platten nach entgegengesetzten Richtungen wandern, und zwar führen die Wasserstofftheilchen die positive Elektricität von der Zinkplatte zur Kupferplatte über, während die Sauerstofftheilchen umgekehrt die negative Elektricität von der Kupferplatte zur Zinkplatte herüber tragen.

Die Grundzüge dieser Contacttheorie rühren von **Volta** her. Den Einfluß der Elektrolyse auf die Stromleitung hat er nicht berücksichtigt, weil ihm die entsprechenden Erscheinungen noch unbekannt waren; die **Volta**'sche Theorie enthält jedoch Nichts, was ihrer Erweiterung nach dieser Seite entgegenstände.

Dieser Contacttheorie entgegen steht die *chemische Theorie* der Kette, welche in ihrer schroffen Form von **de la Rive**, **Becquerel**, **Faraday** und den meisten englischen Physikern vertreten wird. Dieser Theorie zufolge ist die Elektricitätsentwickelung in der Kette erst die Folge einer vorhergegangenen chemischen Wirkung, welche die Flüssigkeit der Kette auf das eine Metall ausübt. Auch die elektrische Spannung an den Polen der nicht geschlossenen Kette ist nach dieser Ansicht die Folge einer vorhergegangenen chemischen Einwirkung.

Diese Meinung, daß die Elektricitätsentwickelung nur die Folge vorhergegangener chemischer Wirkung sey, daß ohne chemische Zersetzung des Elektrolyten gar keine Elektricität in der Kette auftreten könne, ist es vorzugsweise, gegen welche die Angriffe der Contactisten gerichtet waren, und in der That widerspricht dieselbe einer großen Anzahl von Thatsachen. Die chemische Theorie in dieser Form ignorirt den **Volta**'schen Fundamentalversuch vollkommen, sie giebt keine Auskunft darüber, wie die Spannung der Elektricität an den Polen der offenen Kette mit der Anzahl der Plattenpaare zunimmt. Was aber am entschiedensten die Unhaltbarkeit dieser Ansicht darthut, ist der Umstand, daß man in der That eine Menge galvanischer Ketten construiren kann, bei denen vor der Schließung auch nicht eine Spur chemischer Zersetzung stattfindet, und die nichts desto weniger einen Strom liefern, wenn sie geschlossen werden.

Schönbein hat in einem Aufsatz »*über die Ursache der hydroelektrischen Ströme*«, welcher sich in seinen »*Beiträgen zur physikalischen Chemie* (Basel 1844)« befindet, mehrere solcher Ketten angeführt. Eine Auflösung von vollkommen neutralem schwefelsauren Zinkoxyd greift z. B. das Zink nicht an, dessen ungeachtet giebt eine Combination von Zink und Kupfer in einer Auflösung von Zinkvitriol einen Strom.

Ein fernerer sehr bedeutsamer Einwurf gegen diejenige Form der chemischen Theorie, welche die Bildung des Stromes von einem vorausgegangenen chemischen Angriff des einen Metalles der Kette ableitet, ist auch noch der, daß die elektromotorische Kraft einer Kette durchaus nicht der Stärke des chemischen Angriffs proportional ist. Steht in einer **Daniell**'schen Kette das Kupfer

in einer Lösung von Kupfervitriol, so bleibt die elektromotorische Kraft des Apparates fast ganz ungeändert, mag nun das Zink in Wasser oder in verdünnter Schwefelsäure oder in einer neutralen Lösung von Zinkvitriol stehen. Dies hat außer andern Physikern auch Svanberg durch genaue Messungen nachgewiesen (P. A. LXXIII. 290). Wäre der vorhergegangene chemische Angriff die Quelle des Stromes, so müßte die elektromotorische Kraft bei Anwendung der verdünnten Säure weit größer seyn, als für Wasser und Zinkvitriol.

Schönbein's chemische Theorie nimmt eine Mittelstellung zwischen den eben besprochenen ein. Er ist, wie auch die Contacttheorie lehrt, der Ansicht, daß ein elektrischer Spannungszustand der Elektrolyse vorhergehe, aber als Hauptsitz der elektromotorischen Kraft läßt er nicht die Berührungsstelle der beiden Metalle, sondern die Berührungsstellen der beiden Metallflächen mit der Flüssigkeit gelten. Selbst Volta war Anfangs geneigt, den Sitz der elektromotorischen Kraft an diese Stelle zu verlegen und erst, nachdem er den bekannten Fundamentalversuch angestellt hatte, sprach er die Lehre von der Elektricitätserregung bei Berührung verschiedenartiger Metalle aus.

Nach Schönbein's Ansicht ist die Elektricitätserregung eines Plattenpaares, welches in eine erregende Flüssigkeit eingetaucht ist, wie Fig. 229, die Folge der ungleichen chemischen Affinität der Elemente des Elektrolyten zu den beiden Metallplatten. Die elektromotorische Kraft ist sonach auf eine andere Naturkraft, die chemische Affinität, zurückgeführt. Nach dieser Form der chemischen Theorie kann dieselbe von allen Strömungserscheinungen der Säule sowohl, als auch von der Spannung an den Polen der offenen Säule eben so gut Rechenschaft geben, wie die Contacttheorie; — mit dem Fundamentalversuch aber steht sie im Widerspruch, — sie muß ihn ignoriren.

Viertes Kapitel.

Galvanische Licht- und Wärmephänomene.

Der galvanische Funke. Beim Schließen und beim Oeffnen des Schließungsbogens einer galvanischen Säule beobachtet man an der Unterbrechungsstelle eine funkenartige Erscheinung. Um diesen Funken recht schön zu sehen, genügt ein einziges Plattenpaar nicht, es sey denn, daß man eine Magnetisirungsspirale, wie wir sie im nächsten Kapitel werden kennen lernen, in den Schließungsbogen eingeschaltet habe. Diese Verstärkung des Funkens rührt von einer Inductionswirkung her, die erst im sechsten Kapitel betrachtet werden kann. Betrachten wir zunächst den Funken, wie ihn etwa eine Bunsen'sche Säule von 6 bis 10 Bechern oder irgend eine andere dieser äquivalente Säule giebt. 86

Eine sehr schöne Funkenerscheinung beobachtet man, wenn man eine Feile an dem einen Pole der Säule befestigt und mit einem an dem andern Pole verbundenen Drahte darüber hinfährt. Bei dem hierbei rasch auf einander folgenden Oeffnen und Wiederschließen der Kette entsteht ein lebhaftes Funkensprühen, welches offenbar von einer Verbrennung von Eisentheilchen herrührt, die glühend auseinanderfahren.

Anders erscheint der galvanische Funke, wenn das Schließen und Oeffnen der Kette durch Eintauchen und Herausziehen des einen Poldrahtes in Quecksilber geschieht, welches mit dem andern Pole in leitender Verbindung steht. Hier ist kein Umhersprühen zu beobachten. Man sieht, wenn man den einen Poldraht in das Quecksilber eintaucht oder herausnimmt, einen ganz abgerundeten, lebhaft weiß glänzenden Funken, der von einem klatschartigen Geräusch begleitet ist. Auch in dieser Form ist höchst wahrscheinlich die Lichterscheinung von einer secundären Verbrennung, und zwar hier von einer Verbrennung des Quecksilbers begleitet.

Ein Ueberspringen von Funken in distans, wie wir es bei der Reibungselektricität kennen gelernt haben, findet bei den gewöhnlichen galvanischen Säulen nicht Statt. Jacobi hat sich durch genaue Messungen überzeugt, daß die Pole einer Säule von 12 Grove'schen Plattenpaaren bis auf 0,00005 Zoll genähert werden konnten, ohne daß ein Funke übersprang. Ein solches Ueberspringen erhält man erst, wenn man die Zahl der Plattenpaare weit über das gewöhnliche vermehrt. Gassiot hat eine Säule construirt, welche aus 3520 Bechern bestand, deren jeder einen Zinkstab und einen Kupfercylinder enthielt. Zur Ladung diente Regenwasser. Die 3520 Glasbe-

cher waren auf 44 eichene Bretter vertheilt, von denen immer 11 ein Gestell, einem Bücherrepositorium ähnlich, und von 4 starken Ständern getragen, bildeten. Besondere Sorgfalt war auf die Isolirung verwendet worden; die Becher waren gefirnißt und standen auf Glasplatten, die ebenso wie die Bretter mit einem ähnlichen Firnißüberzug versehen waren.

Es ließe sich wohl erwarten, daß diese Batterie im ungeschlossenen Zustande bedeutende Spannungserscheinungen hervorbringen mußte; und in der That divergirten die Pendel eines Goldblattelektroskops schon, wenn man es dem einen Pole auf 2 bis 3 Zoll näherte. —

Sobald die Kette geschlossen wurde, verschwanden alle Zeichen von Spannung.

Als die Pole der Batterie auf 0,02 Zoll genähert wurden, schlugen unausgesetzt Funken zwischen ihnen über. In einem Falle dauerte dies Phänomen ununterbrochen Tag und Nacht fünf Wochen lang. Mehrere Monate nach ihrer Errichtung zeigte die Batterie noch keine Abnahme ihrer Kraft.

Da die gewöhnlichen galvanischen Ketten gar keine Schlagweite haben, so ist klar, daß die Lichterscheinungen, welche man beim Schließen und Oeffnen selbst einfacher Ketten beobachtet, ein ganz anderes Phänomen seyn müssen, als der gewöhnliche elektrische Funken.

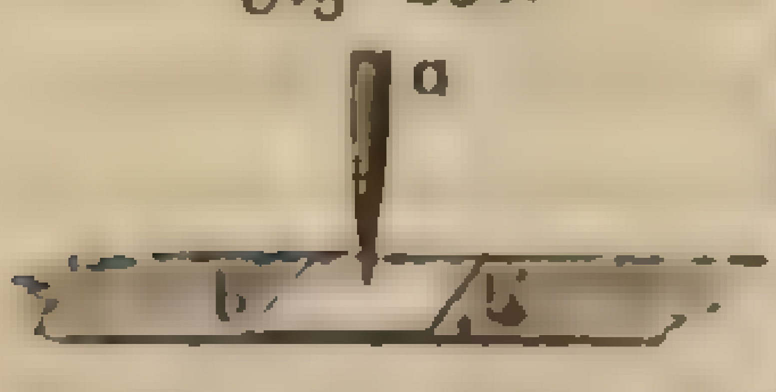
Gewöhnlich schreibt man die funkenartige Erscheinung, welche man beim Schließen und Oeffnen der Säule beobachtet, einer secundären Glüh- und Verbrennungserscheinung zu; die äußersten feinen Spitzen, welche zuerst in Berührung kommen, und welche zuerst die Stromleitung herstellen, werden glühend, verbrennen und veranlassen dadurch die Lichterscheinung.

Daß bei kräftigen galvanischen Funken solche Glüh- und Verbrennungserscheinungen überhaupt vorkommen, unterliegt wohl keinem Zweifel, allein hier ist das Phänomen schon ein zusammengesetztes. Man beobachtet jedoch bei der Unterbrechung der Kette Funken unter Umständen, wo ein Glühen oder Verbrennen höchst unwahrscheinlich ist.

Neeff hat nun wirklich den Beweis geliefert, daß diese Lichterscheinung, wenn sie ganz einfach ohne secundäre Stromwirkung auftritt, weder ein elektrischer Funken im gewöhnlichen Sinne des Wortes, d. h. nicht ein von Pol zu Pol überspringender Funken ist, noch daß sie einer Metallverbrennung zugeschrieben werden kann.

An einem ursprünglich von Neeff herrührenden Apparate, den wir vollständig erst im Kapitel von den Inductionserscheinungen besprechen werden,

Fig. 230.



geht der Strom eines einfachen Plattenpaares, etwa eines Grove'schen Bechers, nachdem er eine Drahtspirale durchlaufen hat, von der Platinspitze *a*, Fig. 230, auf ein Platinblättchen *b b'* über, welches auf einer Feder von Kupferblech aufgelöthet ist. Durch ein später erst zu erläuterndes Mittel wird dieser Kupferstreifen in Oscillationen versetzt, so daß die Berührung zwischen der Platinspitze *a* und der Platinplatte *b b'* in rascher Aufeinanderfolge unterbrochen und wiederhergestellt wird. Die

Oscillationen sind so rasch, daß man ein summendes Geräusch hört und an der Unterbrechungsstelle des Stromes eine Lichterscheinung von continuirlichem Ansehen wahrnimmt, man sieht nämlich an der Berührungsstelle von Spitze und Plättchen ein kleines Lichtpünktchen.

Neeff kam auf den glücklichen Gedanken, diese Erscheinung mit dem Mikroskop zu untersuchen und fand auf diese Weise, daß das Lichtphänomen immer nur am negativen Pol stattfindet.

Am besten beobachtet man die Erscheinung durch ein Mikroskop, welches bei 25- bis 50facher Vergrößerung erlaubt, das Objectiv wenigstens 1½ Zoll weit vom Lichtpunkt anzubringen.

Geht der positive Strom von der Platte zur Spitze über, so erscheint die Spitze in ein violettes Licht eingehüllt, während die Platte ganz dunkel bleibt.

An dem untersten Ende der Spitze erscheinen in dem stetigen violetten Lichte einzelne außerordentlich feine Pünktchen von blendend weißem Lichte, welche eine wimmelnde Bewegung zeigen; allein auch bis gegen das obere Ende der violetten Lichthülle hin sieht man röthliches Licht von größerer Intensität aufblitzen, ohne daß irgend ein Ueberspringen nach dem andern Pole zu bemerken wäre.

Dies letztere Aufblitzen verschwindet mehr und mehr, wenn der Strom schwächer wird.

Geht der Strom in entgegengesetzter Richtung, ist also die Spitze positiv, so erscheint sie ganz dunkel, und das violette Licht ist auf der Platte um den Berührungspunkt herum ausgebreitet.

Hier ist also durchaus kein eigentlicher Funken zu beobachten, allein auch einem Verbrennen des Platins kann dieser gleichförmige, ruhige, violette Lichtschimmer nicht zugeschrieben werden.

Die Figuren 1 und 2 auf Tafel 1 stellen die durch das Mikroskop beobachtete Erscheinung dar. Fig. 1 zeigt die Erscheinung bei negativer, Fig. 2 bei positiver Spitze.

Der galvanische Flammenbogen. Eine der interessantesten Licht- und 87
Wärmeerscheinungen, welche durch die Säule hervorgebracht werden, ist H. Davy's Versuch mit Kohlenspitzen. An einer großen Glocke oder einem Ballon von 10 bis 12 Zoll Durchmesser sind diametral gegenüberstehend zwei Stopfbüchsen angebracht, durch welche zwei Metallstäbe hindurchgehen, die man bis zur Berührung einander nähern und nach Belieben von einander entfernen kann. Am Ende eines jeden Metallstabes ist ein Kegel von Kohle (am besten von der Masse der Bunsen'schen Cylinder) befestigt, der aber das Metall mit einer großen Oberfläche berühren muß. Der Apparat wird luftleer gemacht, die Kohlenspitzen bis zur Berührung genähert; läßt man nun den Strom einer kräftigen Säule, d. h. den Strom einer Säule von vielen und großen Plattenpaaren, hindurchgehen, so geht der Strom zwischen den Kohlen über, deren Spitzen erhitzt werden und mit einem so blendenden Lichte leuchten, daß es die Augen kaum ertragen können.

Zur Hervorbringung dieses Kohlenlichtes ist der luftleere Raum nicht wesentlich nothwendig, nur wird im lufterfüllten Raume die Kohle zum Theil verzehrt.

Das helle Licht zwischen Kohlenspitzen läßt sich schon mit einem Bunsen'schen Apparate von 4 Elementen zeigen. Man hat zu diesem Ende nur zwei Kohlenstücke, die in derselben Weise präparirt sind wie die Kohlencylinder, mit den Polen, und dann die Kohlenstücke selbst in Berührung zu bringen. Die Berührung zwischen einem solchen Kohlenstücke und einem Pole muß in möglichst vielen Punkten stattfinden, die Kohlen selbst müssen sich aber nur in einer Spitze berühren; an der Berührungsstelle erscheint ein kleiner ungemein leuchtender Stern; wenn man die Zahl der Elemente vermehrt, so nimmt der Glanz der Erscheinung außerordentlich zu; mit einer Kette von 30 bis 50 Elementen erhält man ein Licht, welches das Drumond'sche Kalklicht weit übertrifft. Bei Anwendung so vieler Paare kann man auch die Kohlenspitzen, wenn einmal der Strom übergeht, ziemlich weit von einander entfernen, und so erhält man durch die glühenden Kohlenpartikeln, welche von einem Polen zum andern übergehen, das herrliche Phänomen eines Lichtbogens.

Fig. 231 stellt eine zu diesem Versuch geeignete Vorrichtung dar, die wohl ohne weitere Erklärung verständlich seyn wird. Fig. 232 zeigt die Kohlenspitzen mit dem Flammenbogen in vergrößertem Maaßstab.

Fig. 231.



Fig. 232.



Das Licht an den Kohlenspitzen ist viel zu blendend, als daß man die Details der Erscheinung übersehen könnte; will man diese näher untersuchen, so ist es am zweckmäßigsten, den Flammenbogen durch eine Linse oder ein Linsensystem von zweckmäßiger Brennweite auf einen Schirm zu projiciren. Man kann zu diesem Zwecke die schwächer vergrößernden Linsen eines Gasmikroskopes oder auch die Linsen einer recht guten laterna magica anwenden. Wenn man in dieser Weise den Flammenbogen zu projiciren beabsichtigt, so ist es vorzuziehen, die eine Kohlenspitze nicht vertikal unter die andere zu stellen, wie Fig. 231, sondern die beiden Spitzen so zu stellen, daß ihre Verbindungslinie eine hori-

zontale ist; bei dieser Stellung bildet sich nämlich der Flammenbogen ungleich regelmäßiger, als wenn der Strom von Oben nach Unten oder von Unten nach Oben geht.

Fig. 3 auf Tab. I. stellt das auf einen Schirm projicirte Bild des Flammenbogens dar. Diese Figur zeigt deutlich, wie die blendendsten Punkte des ganzen Lichtphänomens diejenigen sind, in welchen der eigentliche Lichtbogen sich auf die beiden Kohlenstücke aufsetzt, während der Flammenbogen selbst ein ungleich schwächeres Licht aussendet.

Der galvanische Lichtbogen läßt sich nicht nur zwischen Kohlenspitzen, sondern auch zwischen verschiedenen Metallspitzen erzeugen. Bei leicht schmelzbaren oder bei leicht oxydirbaren Metallen, wie Zink oder Eisen, ist er größer als beim Platin oder Silber. Die Größe des Lichtbogens steht in Beziehung zur größeren oder geringeren Leichtigkeit, mit welcher die Substanz der Elektroden sich zu zertheilen fähig ist; denn da der Lichtbogen durch Ueberführung fein vertheilter Substanz von einer Elektrode zur andern erzeugt und erhalten wird, so muß seine Bildung nothwendig durch eine geringere Cohäsion der Elektroden begünstigt werden; deshalb kann man auch zwischen Kohlenspitzen, unter sonst gleichen Umständen, den größten Lichtbogen hervorbringen.

Die Fortführung der Substanz geschieht stets von dem positiven zu dem negativen Pole. In der Luft und bei metallischen Elektroden besteht der Absatz auf dem negativen Pol immer aus dem oxydirten Staub des Metalls der positiven Elektrode.

Der Flammenbogen zeigt in seiner Lage und Gestalt eine große Veränderlichkeit, indem die blendenden Ausgangspunkte desselben fortwährend ihre Stelle ändern.

Ueber die Lichtstärke des galvanischen Flammenbogens hat Casselmann Versuche angestellt. (Pogg. Annal. LXIII, 576.) Er wandte zu denselben ein Bunsen'sches Photometer an, wie wir es im ersten Bande dieses Lehrbuchs kennen gelernt haben. Die Kohlenstücke, zwischen denen der Lichtbogen erzeugt wurde, waren aus derselben Masse gebildet, welche zur Herstellung der Kohlencylinder der Bunsen'schen Kette dient; jedoch waren sie noch auf verschiedene Weise präparirt worden, indem sie mit Lösungen von salpetersaurem Strontian, Borsäure u. s. w. getränkt und nochmals stark geglüht wurden. Die so präparirten Kohlenstücke geben einen, je nach der angewandten Substanz verschieden gefärbten, sehr ruhigen Lichtbogen, der (bei einer Säule von 44 Bunsen'schen Bechern) erst erlischt, wenn die Kohlenspitzen 7 bis 8 Millimeter von einander entfernt werden, während der unruhige Lichtbogen der rohen Kohle schon bei 5^{mm} Entfernung erlischt.

In den Strom war gleichzeitig eine Tangentenbussole eingeschaltet, so daß die jeder gemessenen Lichtstärke entsprechende Stromstärke gemessen werden konnte.

Die folgende Tabelle giebt die jedem Falle entsprechende Lichtstärke der beiden hellen Punkte, sammt dem Bogen verglichen mit der Lichtstärke einer Stearinkerze, und zwar für jede Kohlenart einmal bei ganz kleiner, dann bei

möglichst großer Entfernung der Kohlenspitzen. — Die Werthe der Stromstärke sind bereits auf chemische Einheit reducirt.

	Entfernung der Kohlenspitzen	Stromstärke	Lichtstärke
Rohe Kohle	0,5mm 4,5	95 68	932 139
Kohle mit salpetersaurem Strontian	0,5 6,75	120 88	353 274
Kohle mit Aetzkali	2,5 8	101 82	150 75
Kohle mit Zinkchlorid	1,0 5,0	80 67	624 159
Kohle mit Borax und Schwefelsäure	1,5 5,0	72 64	1171 165

Die Tabelle zeigt uns, daß mit der Entfernung der Spitzen die Lichtstärke und die Stromstärke abnimmt. Durch die meisten der Substanzen, mit welchen die Kohle behandelt wurde, ist der Lichtbogen zwar ruhiger, und eine größere Entfernung der Kohlenspitzen möglich, aber keine größere Lichtstärke erzielt worden; dies ist nur der Fall bei der Kohle, die in eine Mischung von Borax mit Schwefelsäure getaucht war.

Auch bei unveränderter Entfernung der Spitzen nimmt die Lichtstärke zu, wenn die Stromstärke wächst.

Nach den Versuchen von Fizeau und Foucault ist die Intensität des durch 46 Bunsen'schen Zinkkohlenbechern erzeugten Kohlenlichtes 34 mal so groß als die des Drumond'schen Kalklichtes.

Die große Lichtstärke des galvanischen Kohlenlichtes mußte bald auf die Idee führen, dasselbe zur Beleuchtung anzuwenden; die in dieser Beziehung angestellten Versuche haben aber bis jetzt noch keine befriedigenden Resultate gegeben.

Bei der Beleuchtung von großen Räumen, Sälen, Theatern u. s. w. durch das galvanische Kohlenlicht zeigt es sich zunächst als ein großer Uebelstand, daß eine so ungeheure Lichtmenge von einem einzigen Punkte ausgeht, wodurch sehr schroffe Contraste zwischen Licht und Schatten hervorgebracht werden. Jedenfalls erhält man eine weit angenehmere, gleichförmigere Beleuchtung, wenn dieselbe Lichtmenge in dem zu erhellenden Raum zweckmäßig vertheilt ist, als wenn man sie auf einem einzigen Punkte concentrirt.

Dazu kommt noch die Schwierigkeit, die Stromstärke und die gegenseitige Stellung der Kohlenspitzen so zu reguliren, daß auf längere Zeit eine gleichmäßige Lichtstärke erhalten wird; ferner der Umstand, daß die Unterhaltung eines so starken Stromes, wie er zur Production des galvanischen Kohlenlichtes er-

fordert wird, ungemein kostspielig ist u. s. w., so daß es vor der Hand nicht den Anschein hat, als ob nach dieser Seite hin für das praktische Leben viel vom Galvanismus zu gewinnen wäre. Wo es aber nur darauf ankommt, auf kürzere Zeit ein blendendes Licht zu erzeugen, wie z. B. für manche Theatereffecte wünschenswerth ist, da bietet sich das galvanische Kohlenlicht als ein treffliches Mittel dar.

Donné und Foucault haben mit Erfolg das Kalklicht des sogenannten Gasmikroskops durch das galvanische Kohlenlicht ersetzt. Wir können uns hier auf die nähere Beschreibung ihres photo-elektrischen Mikroskops nicht einlassen, nur muß noch bemerkt werden, daß die Kohlenstäbchen, welche sie anwenden, aus stahlharter Kohle geschnitten sind, wie sie sich in den Gasretorten bilden; die Stäbchen sind ungefähr so dick wie eine Federspule und haben die in Fig. 233 dargestellte Form, so zwar, daß das als negative Elektrode dienende Kohlenstück zugespitzt, das andere gerade abgestumpft ist. Bei diesen Kohlen ist die Lichterscheinung viel dauerhafter als bei den gewöhnlichen.

Fig. 233.



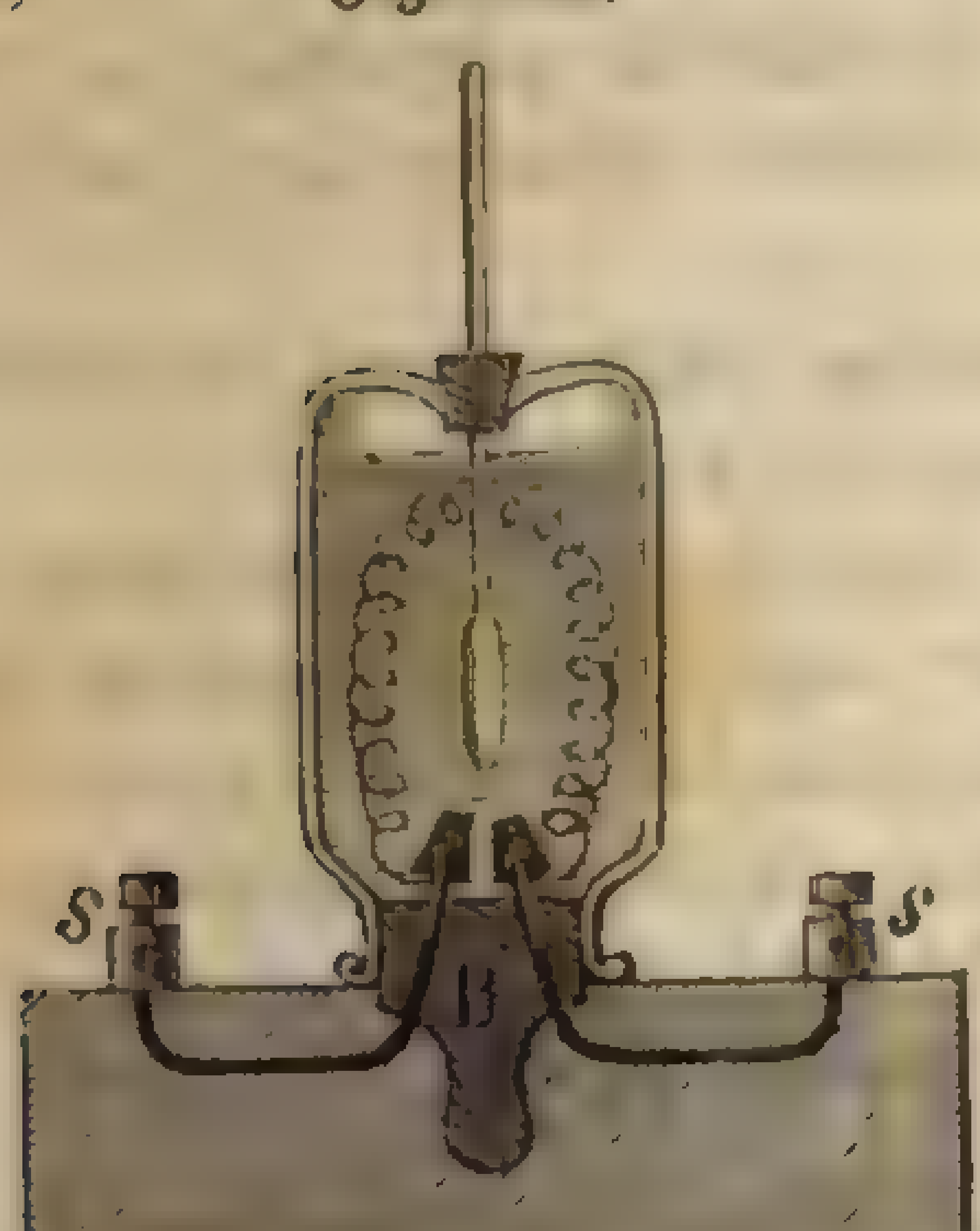
Von der Wärmeentwickelung am Flammenbogen und von der Einwirkung der Magnete auf denselben wird weiter unten die Rede seyn.

Wärmeentwickelung durch den galvanischen Strom. Daß die me- 88
tallischen Leitungsdrähte durch die galvanischen Ströme erwärmt werden, wurde bereits auf Seite 157 erwähnt. Wir wollen jetzt diese galvanische Wärmeentwickelung näher betrachten.

Joule sowohl als Lenz haben die Gesetze der Wärmeentwickelung, welche der galvanische Strom in Metalldrähten hervorbringt, untersucht; beide Gelehrten sind fast zu denselben Resultaten gelangt.

Um die Wärme zu messen, welche in einem Metalldraht durch den galvanischen Strom entwickelt wird, wandte Lenz den beistehend gezeichneten Apparat, Fig. 234, an.

Fig. 234.



In der Mitte eines Brettes ist der Glasstöpsel *B* befestigt, welcher in den Hals einer Glasflasche eingeschliffen ist, so daß diese vermittelst etwas Fett luft- und wasserdicht aufgesetzt werden konnte. — Eine in der Figur fortgelassene Messingklammer drückt den untern horizontalen Rand des Flaschenhalses an das Brett an, so daß die Flasche selbst bei heftigen Bewegungen des Apparates nicht herabfällt. — Die Flasche hat oben, also eigentlich in ihrem Boden, ein cylindrisch eingeschliffenes Loch, in welches sowohl die

Flüssigkeit eingegossen, als auch mittelst eines Korkes ein Thermometer eingesetzt werden kann. Dieses Thermometer war in $^1/_5$ Grade getheilt.

Durch den Glasstöpsel gehen zwei eingebohrte und festgekittete Drahtstücke von ungefähr 1 Linie Durchmesser hindurch. Ihr oberes in die Flasche hineinragendes und hier etwas conisch zugehendes Ende ist von Platin; diese Platinkegel sind unten an gleich dicke Kupferdrähte angelöthet, welche, in das Brett eingelassen, zu den Schraubklemmen *s* führen, in welche die von den Polen der Kette kommenden Zuleitungsdrähte eingeschraubt werden.

Der Draht, welcher erwärmt werden soll, ist vorläufig um einen cylindrischen 1 bis 2 Linien dicken Stift zu einer Spirale gewunden und mit seinen Enden mittelst zweier Platinklötzchen auf den Platinkegeln festgeklemmt. Er hält sich durch seine Elasticität aufrecht, ohne mit seinen Windungen irgendwo anzurühren.

Die Flüssigkeit, mit welcher die Flasche immer wenigstens so weit gefüllt war, daß die Drahtspirale ganz untertauchte, war Weingeist von 85 bis 86 Procent Alkohol, indem Wasser noch ein so guter Leiter ist, daß ein Theil des Stromes nicht durch den Draht, sondern durch das Wasser hindurchgeht, was man sogleich an einer schwachen Gasentwickelung erkennt.

Nachdem die Drahtspirale gehörig befestigt und eine gemessene Quantität Weingeist in die Flasche eingefüllt war, wurde der Apparat zugleich mit dem Multiplicator (Nervander'sche Tangentenbussole) und dem Rheostat in den Schließungsbogen einer Daniell'schen Batterie gebracht. — Mittelst des Rheostaten wurde der Strom stets auf einer bestimmten Stärke erhalten; unterdessen wurde beobachtet, welche Zeit erforderlich ist, damit das Thermometer im Weingeist um eine bestimmte Anzahl von Graden steigt. Dabei wurde durch ein Herumdrehen des Apparates in einem kleinen Kreise die Flüssigkeit in eine rotirende Bewegung gebracht, wodurch eine gleichmäßige Vertheilung der Temperatur im Innern der Flüssigkeit erzielt wurde.

Um die Fehler zu vermeiden, welche durch den Wärmeverlust an die Umgebung veranlaßt werden, wurde der Weingeist unter die Temperatur der Umgebung erkaltet in die Flasche eingefüllt, und der Versuch geschlossen, als seine Temperatur gerade um eben so viele Grade über die Lufttemperatur gestiegen war, als sie anfänglich darunter stand.

Um den Gang der Untersuchung verständlich zu machen, mag hier derselbe für eine Versuchsreihe ausführlich auseinandergesetzt werden.

Die Temperatur der Luft betrug 16° R. Der Weingeist wurde durch Eis bis auf 7° erkaltet in die Flasche eingefüllt und nach der Schließung der Kette mittelst des Rheostaten die Nadel des Multiplicators fortwährend auf 35° erhalten; es wurden nun an einer Secundenuhr die Momente beobachtet, in welchen die Temperatur des Weingeistes 10, 11, 12, 13, 14 und 15 Grad betrug, dann ferner die Momente, in denen sie 16, 17, 18 u. s. w. bis 22 Grad war.

Es ergab sich, daß die Zeit, welche nöthig ist, um die Temperatur des Weingeistes von

15 bis 17,	also	um 2^0	zu	erhöhen,	. .	1,05	Minuten
14 » 18	»	» 4	»	»		2,22	»
13 » 19	»	» 6	»	»		3,25	»
12 » 20	»	» 8	»	»		4,30	»
11 » 21	»	» 10	»	»		5,42	»
10 » 22	»	» 12	»	»		6,53	»

betrug; daraus ergiebt sich, daß die Zeit t, welche nöthig war, um die Temperatur des Weingeistes um 1^0 zu erhöhen, im Durchschnitt 0,542 Minuten betrug.

Der Leitungswiderstand des Spiraldrahtes wurde dadurch ermittelt, daß man nach Entfernung des Apparates Fig. 234 aus dem Schließungsbogen beobachtete, wie viel Rheostatenwindungen in die Schließung noch eingeführt werden mußten, um den Strom wieder auf dieselbe Größe zu bringen, welche er bei Einschaltung des Erwärmungsapparates gehabt hatte.

In der folgenden Tabelle sind die Resultate einer großen Anzahl solcher Versuchsreihen zusammengestellt:

Nummer der Versuchsreihe	Drahtsorte.	s	t	l
1	Neusilber a	6,93	1,349	93,50
2	»	10,53	0,571	93,63
3	»	14,30	0,300	93,94
4	Neusilber b	10,53	0,920	58,76
5	»	14,30	0,481	58,64
6	»	18,32	0,288	59,01
7	»	14,30	0,457	60,16
8	Neusilber c	18,32	0,384	44,59
9	Platin	14,30	0,555	50,45
10	»	18,32	0,325	51,41
11	Eisen	22,69	0,435	24,92
12	Kupfer	18,32	1,301	13,90
13	»	22,69	0,835	13,90
14	»	27,52	0,575	13,92
15	»	32,98	0,381	14,01
16	»	27,52	0,544	14,31

Es waren drei verschiedene Neusilberdrähte zu den Versuchen angewandt worden; der mit a bezeichnete war der dünnste, b war etwas dicker als a, c endlich etwas dicker als b.

In dieser Tabelle bezeichnet s die Stromstärke und l den Leitungswider-

stand des Drahtes in unseren Einheiten ausgedrückt; t ist die Zeit, welche nöthig ist, um die Temperatur des Weingeistes um 1° zu erhöhen. Wie der jedesmalige Werth von t als Resultat einer Versuchsreihe ermittelt wird, ist bereits oben angegeben worden.

Die Quantität des in die Flasche gegossenen Weingeistes war immer fast ganz genau dieselbe und zwar im Mittel 90 Gramm.

Vergleicht man alle diejenigen Versuchsreihen miteinander, bei welchen die Stromstärke dieselbe war, so ergiebt sich, daß das Product von t und l sehr nahe constant bleibt. Es ergiebt sich:

Für den Strom 10,53:
2) Neusilber a . . $tl = 53{,}46$
4) Neusilber b . . $tl = 54{,}06$.

Für den Strom 14,30:
3) Neusilber a . . $tl = 28{,}18$
5) Neusilber b . . $tl = 28{,}11$
7) Neusilber c . . $tl = 27{,}49$
9) Platin . . . . $tl = 28{,}00$.

Für den Strom 18,32:
6) Neusilber b . . $tl = 16{,}99$
8) Neusilber c . . $tl = 17{,}12$
10) Platin . . . . $tl = 16{,}71$
12) Kupfer. . . . $tl = 18{,}08$.

Für den Strom 22,69:
11) Eisen . . . . $tl = 10{,}84$
13) Kupfer. . . . $tl = 11{,}60$.

Die Gleichheit der Werthe von tl für ein und denselben Strom ist so augenfällig, daß die Annahme gerechtfertigt ist, die Erwärmungszeit sey dem Leitungswiderstand umgekehrt proportional, oder mit anderen Worten, die Erwärmungen in bestimmter Zeit seyen dem Leitungswiderstande direct proportional und unabhängig von der sonstigen Natur des Metalls.

Um die Abhängigkeit der Wärmeerzeugung von der Stromstärke zu ermitteln, müssen wir die Versuche zusammenstellen, welche mit demselben Drahte bei verschiedenen Strömen angestellt wurden; es zeigt sich alsdann, daß für denselben Draht $s^2\,t$ nahezu eine constante Größe ist. Es ergiebt sich nämlich:

Für den Neusilberdraht a:
1) . . . . $s^2\,t = 64{,}8$
2) . . . . $s^2\,t = 63{,}3$
3) . . . . $s^2\,t = 61{,}3$.

Für den Neusilberdraht b:
4) . . . . $s^2\,t = 102{,}0$
5) . . . . $s^2\,t = 98{,}4$
6) . . . . $s^2\,t = 96{,}7$
7) . . . . $s^2\,t = 93{,}5$.

Für den Platindraht:

9) . . . . $s^2\,t = 113{,}5$
10) . . . . $s^2\,t = 109{,}1.$

Für den Kupferdraht:

12) . . . . $s^2\,t = 436{,}6$
13) . . . . $s^2\,t = 429{,}9$
14) . . . . $s^2\,t = 435{,}5$
15) . . . . $s^2\,t = 414{,}2$
16) . . . . $s^2\,t = 412{,}0.$

Durch diese Versuche ist also dargethan:

1) Die Wärmeentwickelung ist dem Leitungswiderstande der Drähte proportional.
2) Die Wärmeentwickelung ist den Quadraten der Stromstärke proportional.

Wenn demnach t die Zeit ist, welche erfordert wird, damit durch den Strom s bei dem Leitungswiderstande l eine gegebene Weingeistmasse um 1° R. erwärmt werde, so ist $s^2\,t\,l$ die Zeit, welche nöthig ist, damit dieselbe Weingeistmasse eine Temperaturerhöhung von 1° R. durch die Einheit der Stromstärke bei der Einheit des Leitungswiderstandes erfahre. — Da nun die Weingeistmasse stets sehr nahe dieselbe war, so muß auch das Product $s^2\,t\,l$ für alle in der Tabelle verzeichnete Versuchsreihen sehr nahe dasselbe seyn. Es ergeben sich für das Product $s^2\,t\,l$ für die verschiedenen Versuchsreihen folgende Werthe.

Versuchsreihe.	$s^2\,t\,l$.
1	6059
2	5927
3	5758
4	5994
5	5770
6	5706
7	5625
8	5747
9	5726
10	5609
11	5975
12	6069
13	5976
14	6062
15	5803
16	5896
Mittel	5856.

Die Masse des Weingeistes, welcher in den obigen Versuchsreihen erwärmt

wurde, betrug sammt der zu erwärmenden, in Beziehung auf specifische Wärme auf Weingeist reducirten Glasmasse 118 Gramm.

Die Einheit der Stromstärke, welche durch einen Draht von dem Leitungswiderstand hindurchgeht, entwickelt also so viel Wärme, daß dadurch die Temperatur von 118 Gramm Weingeist in 5856 Minuten um 1° R. erhöht wird.

Die specifische Wärme des zu den besprochenen Versuchen benutzten Weingeistes ist 0,7; eine bestimmte Temperaturerhöhung von 118 Grammen Weingeist erfordert also eben so viel Wärme, wie eine gleiche Temperaturerhöhung von 118 . 0,7 = 82,6 Grammen Wasser. — Für 1 Gramm Wasser beträgt also jene Zeit

$$\frac{5856}{82,6} = 70,9 \text{ Minuten},$$

oder wenn man statt der Reaumür'schen Grade Celsius'sche einführt

$$70,9 \cdot 0,8 = 56,72 \text{ Minuten},$$

d. h. wenn die Einheit der Stromstärke einen Draht durchläuft, dessen Widerstand gleich ist dem eines Kupferdrahtes von 1 Meter Länge und 1^{mm} Durchmesser, so wird dadurch eine solche Wärmemenge erzeugt, daß sie die Temperatur von 1 Gramm Wasser in 56¾ Minuten um 1° C. erhöht.

Nehmen wir, wie es gewöhnlich geschieht, als Wärmeeinheit diejenige Wärmemenge an, welche die Temperatur von 1 Kilogramm Wasser um 1° erhöht, so ergiebt sich also aus obigen Untersuchungen, daß die Einheit der Stromstärke, die Einheit des Widerstandes durchlaufend, in demselben in einer Stunde 0,001057 und in einer Minute 0,0000176 Wärmeeinheiten erzeugt.

89 **Glühen von Metalldrähten durch den galvanischen Strom.** Während über die Glüherscheinungen von Metalldrähten durch den Entladungsschlag der Leidner Flasche die schönen Arbeiten von Rieß Licht verbreitet haben, fehlt es an entsprechenden Untersuchungen über das galvanische Glühen, obgleich diese mit wenigeren Schwierigkeiten verbunden seyn dürften als jene.

Um diese Lücke wenigstens theilweise auszufüllen, habe ich eine Versuchsreihe angestellt, welche in meinem »Bericht über die neuesten Fortschritte der Physik« Seite 384 ausführlich mitgetheilt worden ist. Ich entnehme von dort Folgendes.

Die Kette wurde stets erst dann geschlossen, nachdem der zu untersuchende Draht in dem Schließungsbogen gehörig befestigt war. — Das Maximum des Glühens stellte sich nicht momentan nach der Schließung ein, sondern es dauerte namentlich bei längeren und dickeren Drähten stets eine Anzahl von Secunden, bis das der Stromstärke entsprechende Glühen sich vollständig einstellte.

Außer dem zu prüfenden Drahte war auch noch eine Tangentenbussole in den Schließungsbogen eingeschaltet, um jederzeit die Stromstärke zu messen. Der Reductionsfactor für dieses Instrument ist 70.

Zuerst wurde der Einfluß der Länge des Drahtes auf die Glüherscheinung untersucht, indem der Reihe nach verschieden lange Stücke desselben Drahtes in den Schließungsbogen gebracht wurden. Mehrere solche Versuchsreihen führten zu dem Resultat, daß ein und derselbe Draht bei gleicher Stromstärke auch stets dieselbe Glüherscheinung zeigt, welche Länge er auch haben mag.

Für einen Platindraht von 0,45mm Durchmesser trat bei verschiedener Länge des in den Schließungsbogen eingeschalteten Stückes stets ein stellenweises schwaches Glühen bei einer Stromstärke ein, welche der Ablenkung von 45 bis 46° an der Tangentenbussole entspricht. Mit einer Säule von 40 nicht stark geladenen Zinkkohlenbechern erzielt man diese Glüherscheinung an einem Drahtstück von 1,3 Meter Länge. Eine Säule von 24 solchen Bechern bringt die oben genannte Stromstärke und dieselbe Glüherscheinung an einem 0,5 Meter langen und endlich eine Säule von 12 Bechern an einem 0,4 Meter langen Drahtstück.

Das Rothglühen trat bei verschiedenen Längen stets mit einer Stromstärke ein, welche an der Tangentenbussole 48° Ablenkung bewirkte.

Hellrothglühen trat bei einer Ablenkung von 50 bis 51° ein.

Eisendrähte von 0,42mm Durchmesser glühten stellenweise bei einer Ablenkung von 32 bis 33°; sie wurden stark rothglühend bei 35°.

Wenn der Draht über eine gewisse Gränze verkürzt wird, so wirkt die Wärmeableitung durch die metallenen Halter störend auf die Glüherscheinung ein. Ein Platindraht von 0,21mm Durchmesser und 3 Centimeter Länge durch zwei starke messingene Klammern gehalten, wurde in den Schließungsbogen eines Bunsen'schen Bechers gebracht, bis zum schwachen Rothglühen erwärmt, während die Tangentenbussole 26° Ablenkung zeigte; als aber derselbe Draht bis auf 1 Centimeter verkürzt wurde, stieg die Ablenkung der Tangentenbussole bis auf 34°, ein Glühen wurde aber nicht mehr beobachtet.

Betrachten wir nun den Einfluß, welchen die Dicke der Drähte auf die Glüherscheinung ausübt.

Die folgende Tabelle giebt die Resultate einer Versuchsreihe, welche mit Platindrähten von 1 Decimeter Länge und veränderlichem Durchmesser angestellt wurde.

Durchmesser D	Grad des Glühens	Ablenkung v	Stromstärke $s = 70\ tang.\ v$	$\frac{s}{D}$
0,3mm	schwaches Glühen	34°	47,18	163,9
»	Rothglühen	36	50,82	169,4
»	Hellrothglühen	38	54,67	182,2
»	fast Weißglühen	42	63,00	210,0
0,39mm	schwaches Glühen	43°	65,24	163,7
»	Rothglühen	46	72,45	185,5
»	Hellglühen	48	77,77	199,5

Durchmesser D	Grad des Glühens	Ablenkung v	Stromstärke $s=70\ tang.v$	$\frac{s}{D}$
* 0,45^{mm}	schwaches Glühen	47°	75,06	166,6
»	Rothglühen	48	77,77	172,2
»	Hellrothglühen	50,3	84,42	187,6
»	fast Weißglühen	56	103,74	230,3
0,75^{mm}	Rothglühen	60°	121,24	161,7
»	Hellrothglühen	66	157,22	209,3.

Diese Versuchsreihe rechtfertigt die Annahme, daß, um denselben Grad des Glühens hervorzubringen, die Stromstärke dem Durchmesser der Drähte proportional seyn muß; nach diesem Gesetze muß für denselben Grad des Glühens der Quotient der Drahtdicke in die entsprechende Stromstärke, eine constante Größe seyn.

Dieser Quotient ist nach obigen Versuchen im Mittel:

für schwaches Glühen 165
für Rothglühen 172
für helles Rothglühen 195
für anfangendes Weißglühen . . . . . 220.

Eine entsprechende Versuchsreihe mit Eisendraht gab ähnliche Resultate. Der Quotient $\frac{s}{D}$ hatte im Mittel für eiserne Drähte folgende Werthe:

für schwaches Glühen 121
für Rothglühen . . . . 135.

Versuche mit Kupferdraht ergaben im Mittel:

für schwaches Glühen 389
für Rothglühen . . . . 433.

Die oben mitgetheilten Mittelwerthe des Quotienten $\frac{s}{D}$ geben die Größe der Stromstärke an, welche nöthig ist, um einen Draht von 1^{mm} Durchmesser in den entsprechenden Glühzustand zu versetzen. Diese Zahlenwerthe sind jedoch nur als erste Annäherungen zu betrachten.

Ist s die Stromstärke, welche einen Draht von 1^{mm} Durchmesser glühend macht, so ist dem oben ermittelten Gesetz zufolge sd die Stärke des Stromes, welcher einen Draht desselben Materials, dessen Durchmesser d Millimeter beträgt, bis zu demselben Grad des Glühens bringt.

Die eben besprochenen Beziehungen zwischen Glüherscheinung, Stromstärke und Drahtdicke scheinen mir mit den Lenz'schen Versuchen über Wärmeentwickelung nicht zu harmoniren. Nach Lenz ist die Wärmeentwickelung, welche ein galvanischer Strom in Metalldräthen hervorbringt, dem Quadrat

der Stromstärke und dem Leitungswiderstand des Drahtes proportional; wir können demnach

$$W = s^2 l \ldots\ldots 1)$$

setzen, wenn wir mit W die Wärmemenge bezeichnen, die in einem Drahte (innerhalb einer gegebenen Zeit) entwickelt wird, dessen Widerstand l ist, wenn die Stromstärke s hindurchgeht. Es sey nun W die Wärmemenge, welche in einer gegebenen Zeit in dem Drahte entwickelt werden muß, wenn er rothglühend werden soll. — Wird nun der Draht durch einen gleich langen, aber $n$mal dickeren Draht desselben Metalles ersetzt, so wird die Oberfläche dieses neuen Drahtes $n$mal so groß seyn, die $n$fache Oberfläche giebt caeteris paribus $n$mal so viel Wärme an die Umgebung ab, es muß also $n$mal so viel Wärme, also nW, in dem dickeren Draht entwickelt werden, wenn er die gleiche Glüherscheinung hervorbringen soll.

Der Leitungswiderstand des $n$mal dickeren Drahtes ist aber $\frac{l}{n^2}$. Bezeichnen wir mit s' die Stromstärke, welche ihn rothglühend macht, so haben wir also die Gleichung

$$n W = s'^2 \frac{l}{n^2} \ldots\ldots$$

also

$$W = s'^2 \frac{l}{n^3} \ldots\ldots 2)$$

und durch Combination der Gleichungen 1) und 2)

$$s'^2 = n^3 s^2$$

oder

$$s' = s \sqrt{n^3} \ldots\ldots 3)$$

um also einen doppelt und dreimal so dicken Draht glühend zu machen, hätte man dieser Betrachtung zufolge einen 2,83 und einen 5,19mal stärkeren Strom nöthig, während meinen Beobachtungen zufolge ein 2mal und ein 3mal so starker Strom dazu hinreicht; kurz, meiner Beobachtung zufolge müßte zwischen s' und s anstatt der Gleichung 3) die Gleichung

$$s' = ns$$

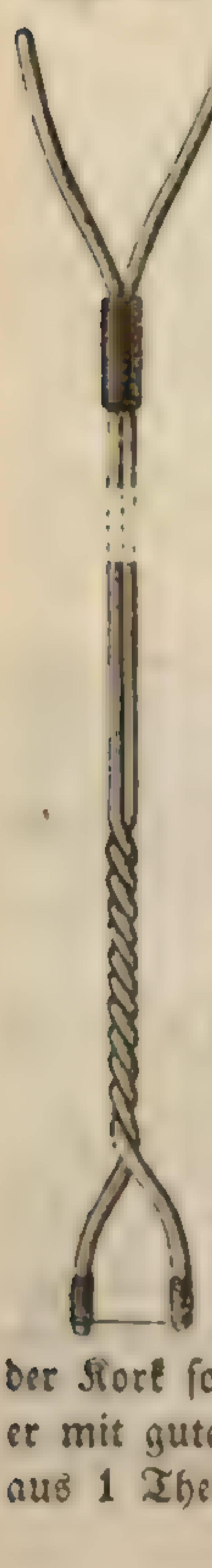
bestehen. — Die Abweichungen sind viel zu bedeutend, als daß ich glaube, sie auf Kosten von Beobachtungsfehlern setzen zu dürfen.

Der Grund dieser auffallenden Differenz liegt wahrscheinlich darin, daß ein $n$mal dickerer Draht bei $n$facher Wärmeentwickelung zwar an der Oberfläche dieselbe Temperatur haben, im Inneren aber heißer seyn wird als der dünnere, so daß man durch die äußeren Schichten hindurch ein stärkeres Glühen beobachtet. Ist dem wirklich so, so wird ein $n$mal dickerer Draht dem Auge denselben Grad des Glühens schon bei einer weniger als $n$fachen Wärmeentwickelung zeigen müssen.

90 **Anwendung des galvanischen Glühens zum Sprengen der Felsen.** Durch Reibungselektricität kann man zwar Pulver entzünden, wie wir bereits auf Seite 105 gesehen haben. Wenn nun somit das Felsensprengen mittelst Reibungselektricität allerdings möglich ist, so stellen sich doch diesem Verfahren viel zu große Schwierigkeiten entgegen, als daß man die Verbreitung desselben in der Praxis erwarten könnte. Hare brachte zuerst das Glühen der Metalldrähte durch den galvanischen Strom behufs der Felsensprengung in Anwendung, aber erst Roberts hat eine, allgemeinerer Verbreitung fähige Methode des galvanischen Felsensprengens angegeben.

Um nicht erst für jede Explosion den feinen zwischen den Leitungsdrähten ausgespannten Eisendraht vorrichten zu müssen, erdachte Roberts Patronen, von denen man stets eine Anzahl vorräthig halten kann. Die Anfertigung der Patronen geschieht auf folgende Weise. — Zwei Kupferdrähte, jeder von 10 Fuß Länge, gegen 1 Linie dick und gut mit wohlgewichstem Baumwollen- oder Wollengarn übersponnen, werden dicht neben einander gelegt; an dem einen Ende werden dann die beiden Drähte auf eine Länge von 6 Zoll hin zusammengedreht, wie es Fig. 236 angedeutet, bis auf zwei Hörner von etwas über 1/2 Zoll Länge, die am freien Ende gegen 1/2 Zoll von einander abstehen. Die freien Enden dieser Hörner werden nun von ihrer Bedeckung befreit und mit der Feile geputzt, und zwischen ihnen der feine Eisendraht ausgespannt. Seine Enden kann man auf die Enden der Hörner aufwickeln und mit Zinn festlöthen.

Fig. 236.



Der eiserne Entzündungsdraht wird natürlich bei jeder Explosion vernichtet; damit dies aber nicht auch mit den kupfernen Leitungsdrähten der Fall sey, werden die beiden Drähte zusammen dick mit Faden, wie es am oberen Ende der Figur angedeutet ist, und dann noch einmal mit feinem Binddraht umwickelt.

Der Körper der Patrone ist eine Zinnröhre von 3 Zoll Länge und 3/4 bis 1 Zoll Weite, welche zusammengelöthet und vollkommen wasserdicht ist. (Man könnte wohl auch eine Glasröhre nehmen.) Der feine Eisen- oder Stahldraht befindet sich ungefähr in der Mitte des Cylinders. Er wird dadurch an seiner Stelle erhalten, daß die gedrehten Drähte durch einen Kork hindurchgehen, welcher an dem einen Ende der Röhre eingesteckt ist. Das beste Verfahren, die zusammengedrehten Drähte hier gehörig festzuhalten, besteht darin, den Korkstopfen seiner Länge nach zu spalten, und ihn, nachdem die Drähte zwischen die beiden Stücke gelegt worden, in die Röhre zu zwängen. Da die zusammengedrehten Drähte doch etwas dick sind, so wird es gut seyn, vorher eine kleine Rinne in die Korkstücke einzuschneiden. — Ist der Kork so eingesteckt, daß die Hörner die Wand nirgends berühren, so wird er mit gutem Kitt überzogen. Roberts empfiehlt dazu einen Kitt, bestehend aus 1 Theil Bienenwachs und 2 Theilen Harz.

Nun wird von dem offenen Ende her die Röhre mit trockenem Jagdpulver gefüllt, und dann auch hier ein Kork eingesetzt, der wie der andere wohl verpicht werden muß.

Fig. 237 zeigt die ganze Patrone.

Wie die Patrone in das Bohrloch eingesetzt wird, zeigt Fig. 238. Nachdem es gehörig von Staub und Feuchtigkeit gereinigt worden ist, schüttet man

Fig. 237.



Fig. 238.



die Hälfte der beabsichtigten Pulverladung in das Loch, legt die Patrone darauf und schüttet den übrigen Theil der Ladung darüber. Die Patrone befindet sich also in der Mitte der Ladung, und ihre langen zusammengewickelten Drähte stehen noch mehrere Fuß über den Felsen hervor. Das Pulver wird nicht eingestampft.

Nun wird ein Pfropf von Stroh oder Werg sanft in das Loch hinuntergeschoben, so daß ein lufterfüllter Raum, dessen Größe natürlich von den Umständen abhängt, zwischen ihm und dem Pulver bleibt. Auf den Pfropf wird trockener Sand geschüttet, bis das Loch voll ist.

Die beiden gabelförmig auseinander stehenden Enden der Patronendrähte müssen nun durch Zuleitungsdrähte mit der 60 bis 90 Fuß entfernten Batterie verbunden werden. Diese Zuleitungsdrähte sind gleichfalls übersponnene Kupferdrähte von ungefähr 1 Linie Durchmesser; sie sind gleichfalls neben einander gelegt und dann gemeinschaftlich mit Faden umwickelt; nur stehen ihre freien Enden auf beiden Seiten gabelförmig auseinander, um auf der einen Seite mit den Patronendrähten, auf der anderen mit den Polen der Kette verbunden zu werden.

Die Person, welche die Schließung der Batterie, also die Entzündung der

Mine zu besorgen hat, muß unter Umständen noch weiter von dem Bohrloche entfernt seyn, als die Batterie; man muß also eine Vorrichtung haben, um die Schließung der Kette aus der Ferne, etwa mittelst einer Schnur, besorgen zu können.

Außer der Verminderung der Gefahr hat diese Methode der Felsensprengung noch andere bedeutende Vorzüge: sie erlaubt ohne große Schwierigkeiten eine Entzündung des Pulvers unter Wasser vorzunehmen. Zu diesem Zwecke befindet sich die ganze, zur Sprengung anzuwendende Pulvermasse in wasserdicht verschlossenen Blechbüchsen, die nur an den gehörigen Ort zu bringen sind, um ihre Wirkung zu thun. Es versteht sich von selbst, daß die Zuleitungsdrähte, so weit sie in Wasser eintauchen, mit einer vollkommen isolirenden Schicht umgeben sind, welche eine Benetzung des Drahtes unmöglich macht, indem sonst das Wasser eine Nebenschließung bildet und nur ein kleiner Theil des von der Batterie gelieferten Stromes durch den dünnen Draht gehen kann.

Ebenso bringt die Anwendung des galvanischen Glühens sehr große Vortheile, wenn große Massen wegzusprengen sind. Nach der früheren Methode mußte man in solchen Fällen eine große Mine anlegen, während eine Reihe kleinerer, zweckmäßig vertheilter Bohrlöcher eine ungleich größere Wirkung hervorbringen würde, wenn man ihre Ladung genau gleichzeitig anzünden könnte. Mit Hülfe des galvanischen Stromes ist dies aber möglich. Man braucht die Verbindungsdrähte nur so zu legen, daß alle Bohrlöcher zugleich in den Schließungsbogen der Batterie kommen; man hat in England auf diese Weise großartige Effecte erreicht.

Fünftes Kapitel.

Elektromagnetismus und Elektrodynamik.

91 **Ablenkung der Magnetnadel durch den galvanischen Strom.** Schon lange wußte man, daß unter Umständen kräftige elektrische Entladungen die Magnetnadel afficiren können; man hatte z. B. beobachtet, daß die Compaßnadeln auf Schiffen, welche vom Blitze getroffen worden waren, ihre Eigenschaft verloren, den Weg des Fahrzeugs zu bezeichnen; mehrere Physiker, unter denen Franklin, Beccaria, Wilson und Cavallo zu nennen sind, versuchten solche Erscheinungen durch die Entladung von Leidner Flaschen hervorzubringen, und in der That war es ihnen auch gelungen, den magnetischen

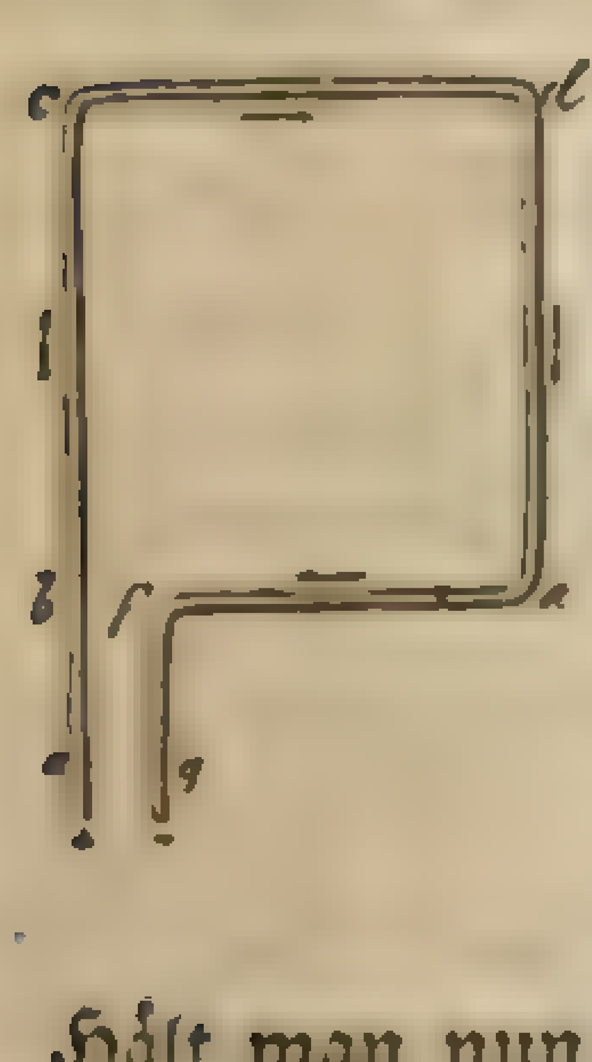
Zustand sehr kleiner Nadeln zu verändern, entweder indem sie den Funken in der Nähe der Nadel überschlagen, oder indem sie den Entladungsschlag durch die Nadel selbst gehen ließen. Alle diese Versuche aber gaben keine regelmäßigen Resultate, und man begnügte sich mit der Annahme, der elektrische Schlag wirke auf die Magnetnadel ungefähr so wie der Schlag eines Hammers. Später machte man neue Versuche mit der galvanischen Elektricität, welche eben so wenig zu einem Resultate führten. Im Jahre 1820 endlich fand Oersted, Professor in Kopenhagen, ein Mittel, die Elektricität sicher und beständig auf einen Magneten einwirken zu lassen. Er eröffnete dadurch den Gelehrten aller Länder ein neues weites Feld der Forschung, und nie vielleicht sah man in kurzer Zeit die Wissenschaft mit so viel neuen Wahrheiten bereichert werden.

Damit die Elektricität auf den Magnetismus wirke, muß sie im Zustande der Bewegung seyn. Die ruhende Elektricität im Zustande starker Spannung wirkt nicht auf den Magneten, wohl aber ein continuirlicher elektrischer Strom.

In der That, wenn man dem Schließungsdrahte einer Säule, während der elektrische Strom hindurchgeht, eine frei aufgehängte Magnetnadel nähert, so wird sie abgelenkt. Dies war der erste Versuch Oersted's, und es ist in der That zu bewundern, daß bei den vielen Versuchen, die man mit der Säule anstellte, nicht schon längst zufällig eine Beobachtung dieser Art gemacht worden war.

Den Fundamentalversuch über die Einwirkung eines galvanischen Stroms auf die Nadel kann man auf folgende Weise anstellen: ein etwas starker Kupferdraht wird so gebogen, daß er ein Quadrat bildet, dessen Seite etwa 8 bis 10 Zoll lang seyn kann; die beiden Enden des Drahtes ab und fg, Fig. 239, tauche man nun in die Quecksilbernäpfchen einer galvanischen Batterie von großer Oberfläche, etwa in die Näpfchen des Apparates Fig. 168, oder verbinde sie mit den Polen des Bunsen'schen Apparates, und befestige sie auf irgend eine Art so, daß die Ebene des Quadrats in die Ebene des magnetischen Meridians fällt. Nehmen wir an, das Drahtende ab sey in das positive Quecksilbernäpfchen getaucht, so circulirt der Strom in der Weise, wie es die Pfeile andeuten. Von b bis c steigt er auf, von c bis d läuft er horizontal in der Richtung von Süden nach Norden im magnetischen Meridian fort, von d bis e steigt er nieder und bewegt sich endlich wieder in horizontaler Linie von Norden nach Süden in dem Drahtstücke ef.

Fig. 239.



Hält man nun eine Magnetnadel gerade über das Drahtstück cd, so würde sie, wenn keine Einwirkung des Stroms auf die Nadel stattfände, mit dem Drahte cd parallel bleiben, der Strom aber lenkt die Nadel ab und zwar so, daß der Nordpol (d. h. der nach Norden gerichtete) östlich vom magnetischen Meridian zu liegen kommt. Hält man aber die Nadel unter das Drahtstück

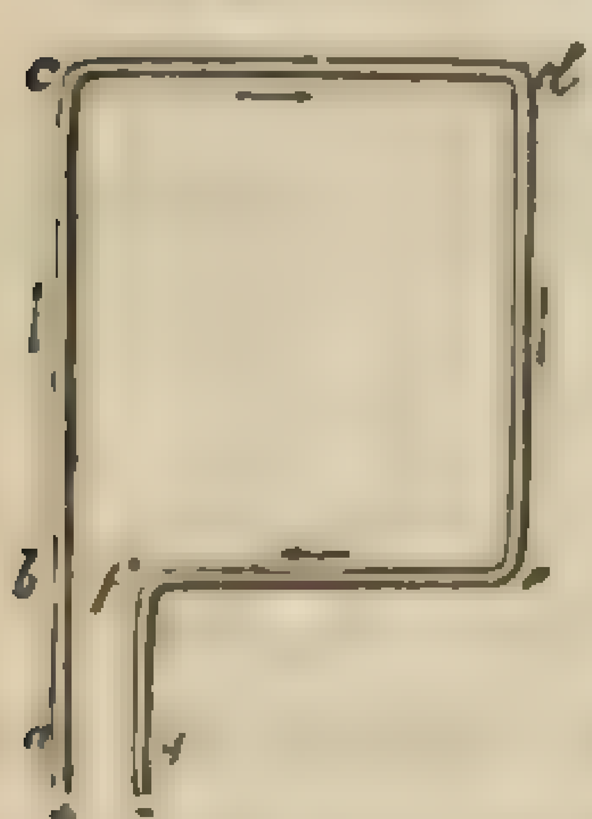
cd, so wird das nach Norden gekehrte Ende der Nadel nach Westen abgelenkt.

Am Drahtstücke *ef*, in welchem sich der Strom in einer Richtung bewegt, welche mit der des Stroms in *cd* parallel aber entgegengesetzt ist, findet die umgekehrte Wirkung Statt; wenn die Nadel nämlich gerade über *ef* gehalten wird, findet eine westliche, wenn sie darunter gehalten wird, eine östliche Ablenkung des Nordpols der Nadel Statt.

In den ersten Zeiten fand man große Schwierigkeiten darin, mit wenig Worten die Beziehungen zwischen der Richtung des Stroms und der Richtung der Ablenkung auszudrücken; diese Schwierigkeiten hat Ampère auf eine sinnreiche Weise gelös't; er hat folgende Regel angegeben, um jederzeit die Richtung der Ablenkung zu bestimmen. Man denke sich in den Draht eine kleine menschliche Figur so eingeschaltet, daß der positive Strom bei den Füßen ein und am Kopfe austritt; wenn nun diese Figur ihr Gesicht der Nadel zukehrt, so ist der Nordpol der Nadel (das Nordende) immer nach der linken Seite hin abgelenkt.

In dem Drahtstücke *cd* liegt die Figur wagerecht, den Kopf nach Norden, die Füße nach Süden gekehrt. Wird die Nadel über den Draht gehalten, so muß die Figur auf dem Rücken liegen, wenn ihr Gesicht der Nadel zugekehrt seyn soll; bei dieser Lage der Figur ist ihre linke Seite die östliche. Wird die Nadel unter den Draht gehalten, so muß die Figur das Gesicht nach unten kehren und nun wird ihre linke Seite die westliche.

Fig. 240.



Für das Drahtstück *ef* sind die Füße der Figur nach Norden, der Kopf nach Süden gekehrt; wenn die Figur auf dem Rücken liegt, ist also die linke Seite die westliche; wenn sie auf dem Leibe liegt, die östliche.

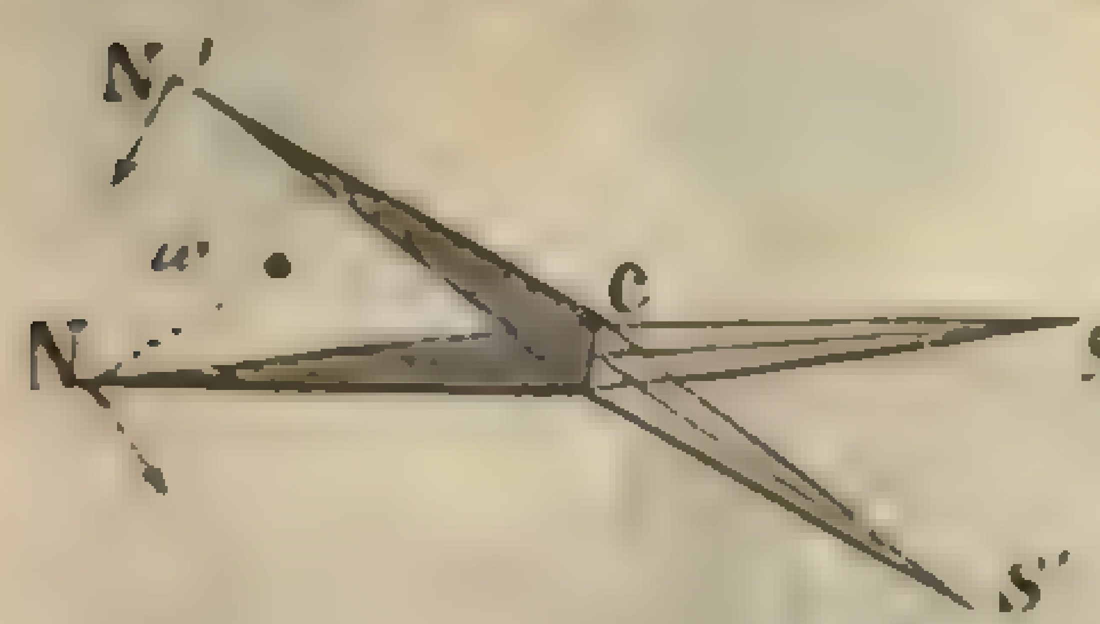
Wenn ein in der Richtung des magnetischen Meridians sich bewegender horizontaler Strom allein auf die Nadel wirkte, so würde sie sich rechtwinklig auf den magnetischen Meridian stellen; außer dem Strome wirkt aber auch noch der Erdmagnetismus, der die Nadel in den Meridian zurückzudrehen strebt. Unter dem Einflusse dieser beiden Kräfte wird also die Nadel eine Zwischenlage annehmen, sie wird mit dem magnetischen Meridiane einen Winkel machen, der um so größer wird, sich also einem rechten um so mehr nähert, je größer die Stromkraft im Vergleiche zur magnetischen Erdkraft ist.

Auch der vertikal gerichtete Strom in *bc* und *de* wirkt ablenkend auf die Nadel, und zwar findet man die Richtung der Ablenkung ebenfalls nach der Ampère'schen Regel. Man denke sich nur die vertikal stehende Figur dem Nordende zugewendet, so muß sich dieses Nordende nach der Linken drehen. Dabei ist aber nicht zu vergessen, daß für einen aufsteigenden Strom die Figur auf den Füßen, für einen niedergehenden auf dem Kopfe steht.

Aus dieser Ampère'schen Regel folgt, daß ein und derselbe vertikale Strom das Nordende einer Nadel bald anzieht, bald abstößt, je nachdem dieser Pol sich

auf der einen oder anderen Seite des Drahtes befindet. In Fig. 241 stelle NS eine horizontale Nadel, von oben gesehen, dar, N sey das Nordende der Nadel, w sey ein vertikaler Draht, der natürlich, von oben gesehen, als Punkt verkürzt erscheint. Geht nun ein positiver Strom von unten nach oben durch den Draht, so hat man sich die Figur aufrecht zu denken; wenn aber diese aufrechte Figur nach N hinschaut und der Pol N in Beziehung auf diese Figur nach der Linken gedreht wird, also so wie es der Pfeil andeutet, so wird die Nadel offenbar von dem Drahte abgestoßen. Befände sich aber die Nadel in $N'S'$, so würde die Nadel offenbar von dem Drahte angezogen.

Fig. 241.



Stellt man die Wirkungen zusammen, welche die Stromstücke bc, cd, de, ef Fig. 240 auf eine Nadel ausüben, die sich innerhalb des Raumes $bcdef$ befindet, so ergiebt sich, daß alle die Nadel in gleichem Sinne abzulenken streben, und zwar läßt sich für diesen Fall die aus der Ampère'schen Regel sich ergebende Ablenkungsrichtung noch einfacher in der Weise ausdrücken, wie es bereits oben Seite 168 geschehen ist, daß das Südende der Nadel nach der Seite hin abgelenkt wird, von welcher aus betrachtet der Strom die Nadel in der Richtung umkreist, in welcher sich der Zeiger einer Uhr bewegt.

Bringt man die Nadel über das Stromstück cd, so wird das Nordende derselben nach derselben Seite hin abgelenkt, wie das Südende einer Nadel, welche sich innerhalb der Windungen befindet.

Davon hat man eine Anwendung bei der Construction des Multiplicators gemacht, wie wir bereits auf Seite 172 gesehen haben.

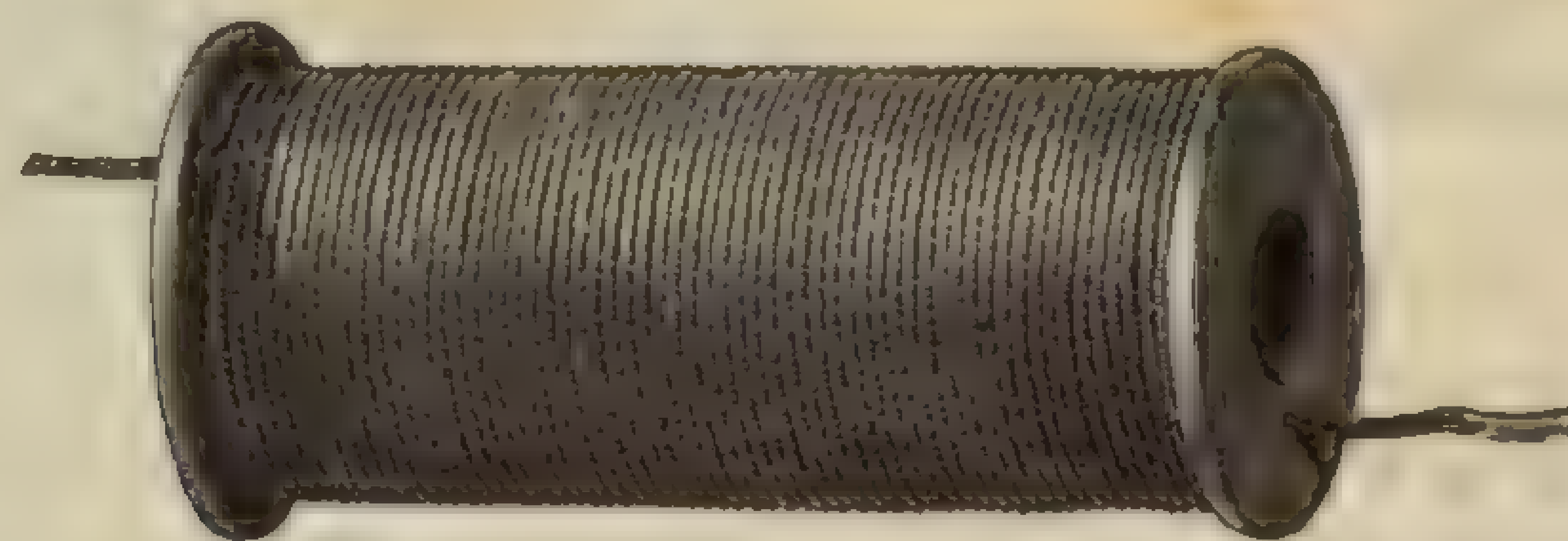
Da wir die Anwendung, welche man von der Ablenkung der Magnetnadel durch den galvanischen Strom gemacht hat, um Rheoskope und Rheometer zu construiren, bereits oben betrachtet haben, so gehen wir nun sogleich zur Betrachtung der magnetisirenden Eigenschaften des Stromes über.

Magnetisirung des weichen Eisens durch den Strom. Der elek- 92
trische Strom wirkt nicht allein richtend auf den freien Magnetismus, sondern er ist auch im Stande, die noch verbundenen magnetischen Flüssigkeiten zu trennen, d. h. er wirkt auch magnetisirend auf weiches Eisen und Stahl, was sich schon dadurch zeigt, daß ein von einem kräftigen Strom durchflossener Leitungsdraht Eisenfeile anzieht. — Um einen Eisenstab zu magnetisiren, muß man den Strom mehrfach um denselben herumführen, was dadurch geschieht, daß man den mit Seide oder Wolle übersponnenen Leitungsdraht spiralförmig um das Eisen herumwindet. Statt die Drahtwindungen direct auf dem Eisen anzubringen, ist es aber zweckmäßiger, den Draht auf eine Spule von Holz (damit man die Spirale auch zu Inductionsversuchen anwenden kann) aufzu-

winden und den zu magnetisirenden Eisenstab in die Höhlung derselben hineinzuschieben.

Fig. 242 stellt eine solche Magnetisirungsspirale dar. Man hat deren von sehr verschiedenen Größen und Drahtdimensionen. Für sehr kräftige Wirkungen

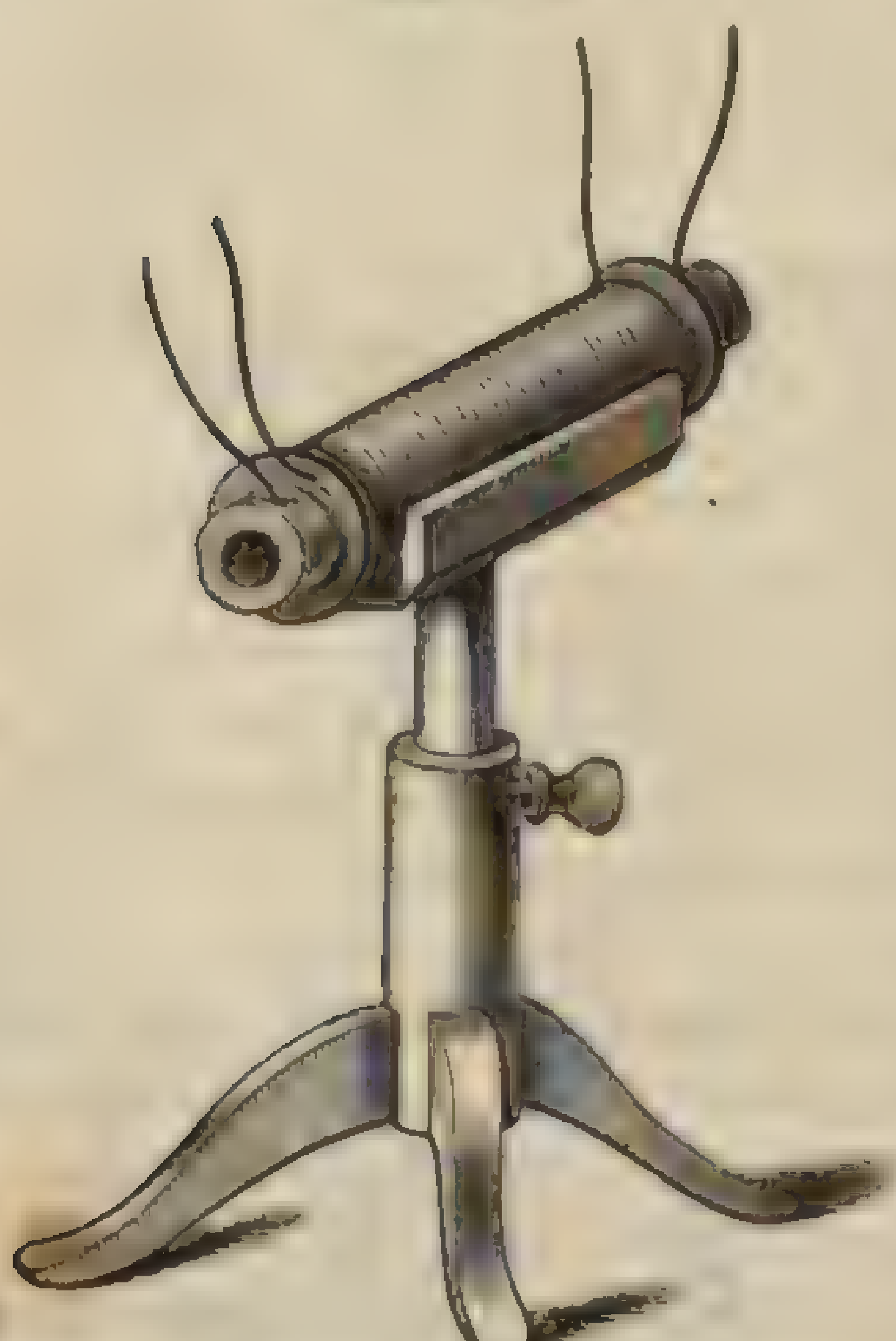
Fig. 242.



werden Magnetisirungsspiralen angewandt, welche aus 800 bis 1000 Windungen eines ½ bis 1 Linie dicken Kupferdrahtes bestehen, die natürlich in mehreren Lagen über einander liegen.

Zu vielen Versuchen ist es bequem, die Spirale auf ein Stativ zu legen, wie man es Fig. 243 sieht.

Fig. 243.



Schiebt man nun einen Eisenstab in eine solche Spirale hinein, so wird er magnetisch, sobald ein elektrischer Strom die Spirale durchläuft. Ragen die Enden des Eisenstabes aus der Spirale hervor, so kann man Eisenstücke an dieselben anhängen, welche aber sogleich wieder abfallen, sobald der Strom unterbrochen wird, welcher den Draht durchläuft, weil das weiche Eisen nur so lange magnetisch bleibt, als es dem magnetisirenden Einfluß ausgesetzt ist.

Was die Polarität der beiden Enden des Eisenstabes betrifft, so ist dieselbe nach den Bemerkungen auf Seite 251 leicht zu bestimmen; dasjenige Ende, welches, dem Beschauer zugewendet, vom positiven Pole in der Richtung umkreist erscheint, in welcher sich der Zeiger einer Uhr dreht, ist der Südpol, derjenige Pol, welcher sich nach Süden richten würde, wenn der Elektromagnet (so nennt man nämlich Eisenstäbe, welche durch den Einfluß des galvanischen Stromes in temporäre Magneten verwandelt sind) sich frei in der Horizontalebene drehen könnte.

Fig. 244 dient um das Gesetz der Polarität zu erläutern.

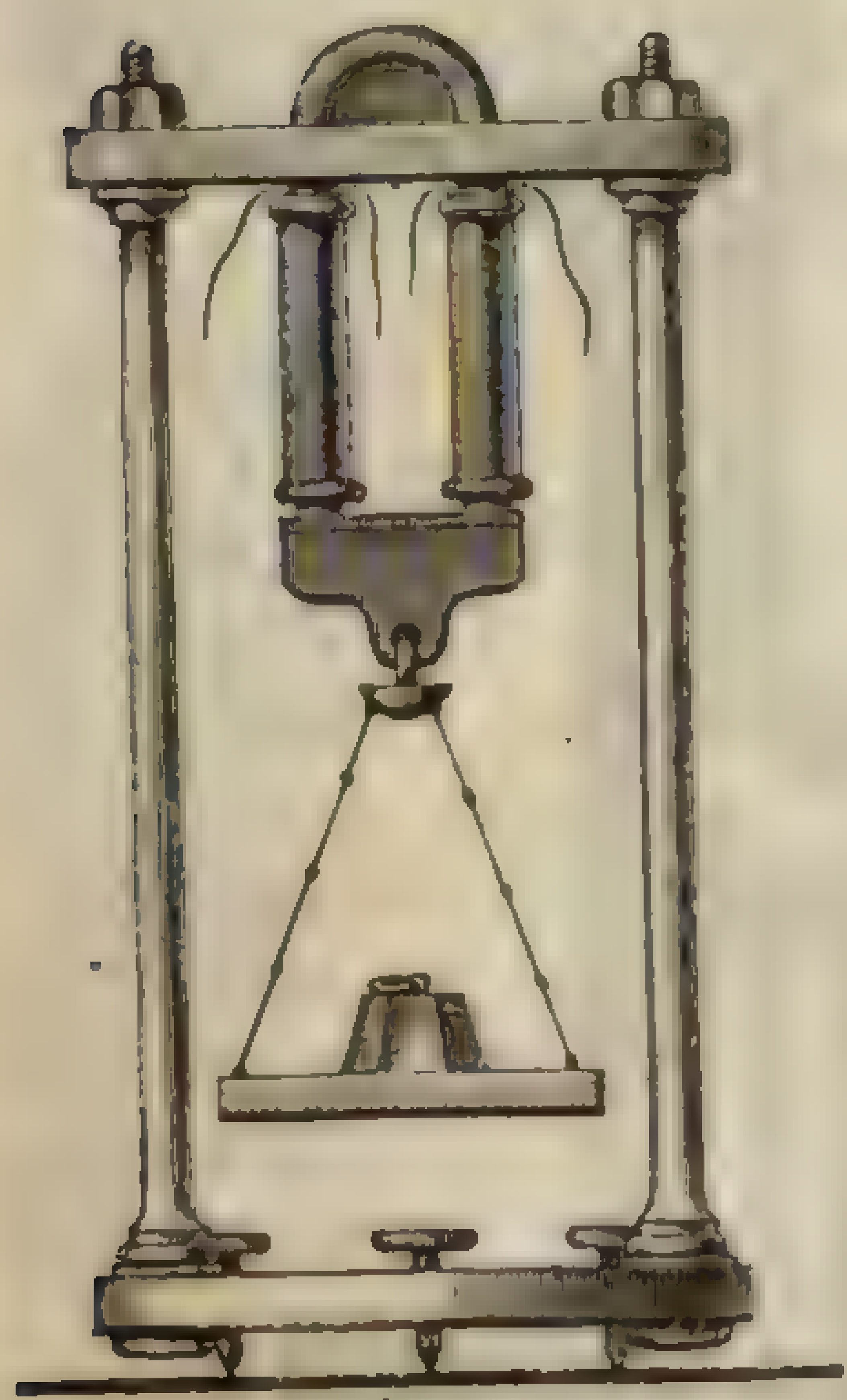
Wie den Stahlmagneten, so giebt man auch den Elektromagneten eine

Uförmige Gestalt, wenn man eine große Tragkraft erzielen will. Um die Gesetze der Tragkraft solcher Elektromagnete zu untersuchen, wendet man am zweckmäßigsten kleinere Eisen an. Figur 245 stellt eine zweckmäßige Aufstellungsart kleinerer Uförmiger Elektromagnete ungefähr in 1/10 der natürlichen Größe dar.

Fig. 244.



Fig. 245.

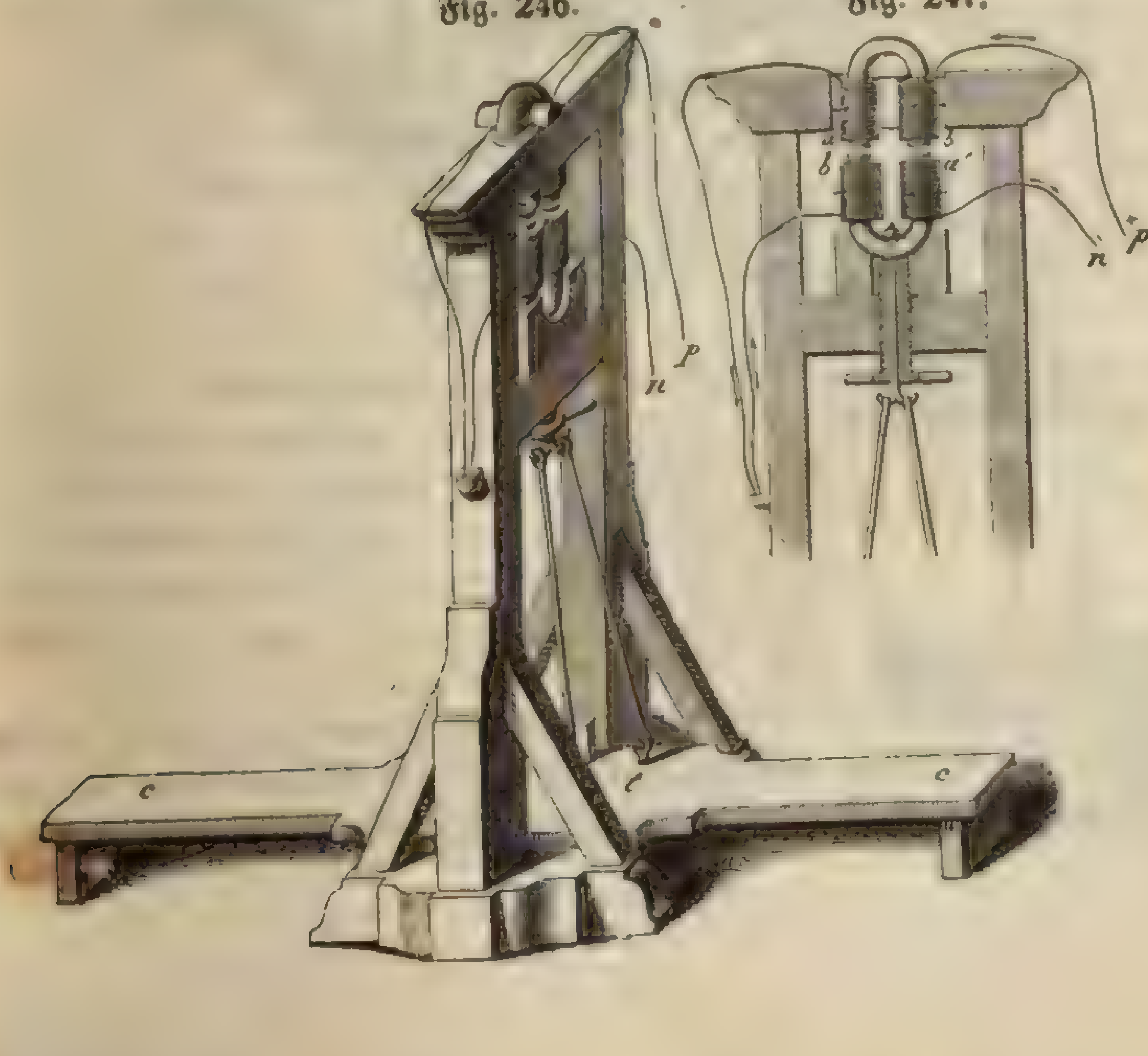


Auf die geradlinigen Schenkel sind die Magnetisirungsspiralen aufgeschoben, so daß man sie wegnehmen und auch zu anderen Zwecken benutzen kann, was auch für größere Elektromagnete sehr zu empfehlen ist.

Ein solcher Elektromagnet von 1 Centimeter Durchmesser erlangt eine Tragkraft von 20 Pfund, wenn auf jeden Schenkel eine Spirale von ungefähr 250 Windungen aufgeschoben ist und durch diese ein Strom geht, dessen Stärke = 17 ist.

Sollen die Elektromagnete eine größere Tragkraft haben, so kommt es vor Allem darauf an, ihre Dimensionen zu vergrößern. Fig. 246 und 247 stellen einen Elektromagneten dar, welchen über 2000 Pfund zu tragen im Stande ist. Jeder Schenkel

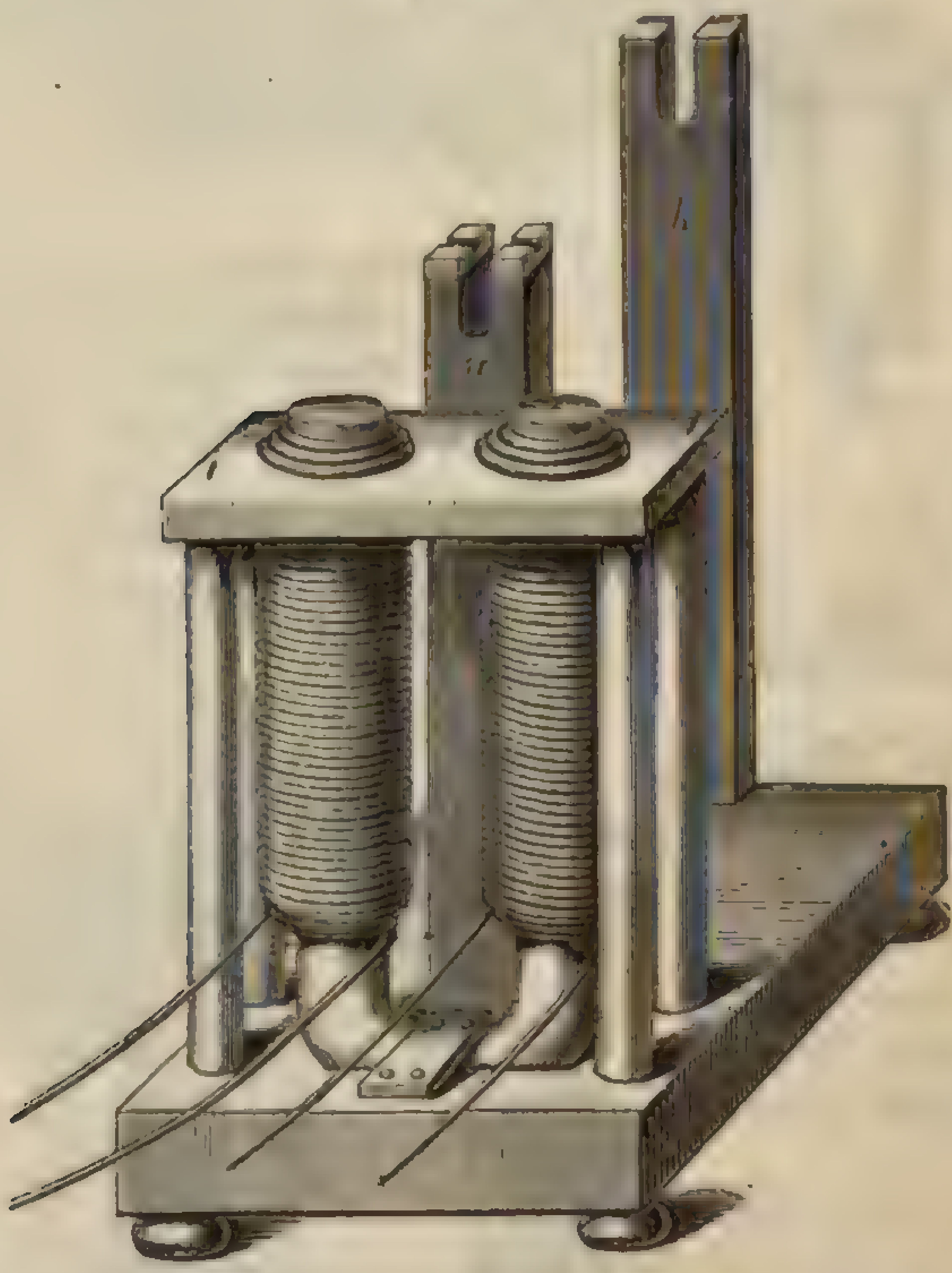
Fig. 246. Fig. 247.



hat einen Durchmesser von 1 Decimeter. Der Anker ist gleichfalls ein Elektromagnet. Natürlich steht dem Nordpol eines jeden der Südpol des anderen gegenüber.

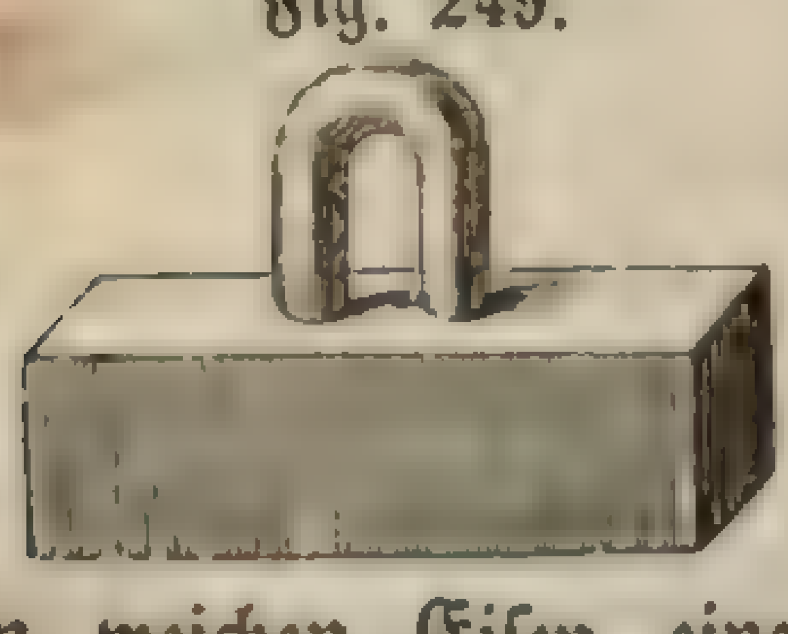
Für manche Versuche, namentlich für die diamagnetischen, die wir weiter unten werden kennen lernen, ist es wünschenswerth, daß die beiden Pole des Elektromagneten nach oben gerichtet sind. Eine für diese Zwecke geeignete Aufstellung des Elektromagneten ist Fig. 248, ungefähr in $1/5$ der natürlichen Größe dargestellt.

Fig. 248.



Um die Tragkraft dieses Elektromagneten zu prüfen, setzt man auf die Pole einen Anker von der Form Fig. 249; in das Ohr desselben wird ein eiserner Hebel eingesetzt, dessen Schneide auf der Säule *a* ruht; am anderen Ende des Hebels werden entsprechende Gewichte angehängt. Die Säule *b* dient, um den Hebel aufzuhalten, wenn er abgerissen wird.

Fig. 249.



Ebenso wie man durch den galvanischen Strom im weichen Eisen einen vorübergehenden kräftigen Magnetismus erzeugen kann, ist man auch im Stande, mit Hülfe desselben Stahlmagnete von großer

Stärke hervorzubringen. Eine zu diesem Zweck besonders geeignete Vorrichtung ist die in Fig. 250 abgebildete von Elias angegebene Drahtrolle.

Fig. 250.



Ein ungefähr 25 Fuß langer, $^1/_8$ Zoll dicker Kupferdraht wird mit Seide gehörig umwickelt und dann zu einer Drahtrolle gewunden, wie die Figur zeigt. Die Höhe der Drahtrolle beträgt 1 Zoll, der Durchmesser der inneren Höhlung $1^1/_2$ Zoll. Die beiden Drahtenden werden, wenn man einen Stahlstab magnetisiren will, mit den Polen eines kräftigen Volta'schen Elementes in Verbindung gebracht.

Während nun ein kräftiger Strom in den Drahtwindungen circulirt, steckt man den zu magnetisirenden Stahlstab in die Rolle und bewegt ihn bis an die Enden einige Male auf und nieder, und wenn er sich wieder mit seinem mittleren Theil in der Rolle befindet, wird die Kette geöffnet und dann der Stab magnetisirt herausgenommen.

Es ist gut, den Stahlstab oben und unten mit einem Stück weichen Eisen und, wenn der zu magnetisirende Stab hufeisenförmig gebogen ist, ihn während der Operation mit einem Anker zu versehen.

Frick hat gezeigt, daß, wenn man nicht sehr starke Ströme anwendet, man mit Hülfe eines Elektromagneten, etwa eines solchen, wie der Fig. 248 abgebildete, doch noch weit kräftiger magnetisiren kann, als mit der Elias'schen Spirale. Namentlich zeigt der Elektromagnet eine große Ueberlegenheit beim Magnetisiren sehr harter und dicker Stahlstäbe, für welche in der That der Elektromagnet das geeignetste Magnetisirungsmittel seyn dürfte. Das Verfahren ist sehr einfach: Man streicht in der Mitte anfangend mit der einen Hälfte des zu magnetisirenden Stabes oder Hufeisens 10- bis 20mal über den einen, mit der andern Hälfte eben so oft über den anderen Pol des Elektromagneten.

Natürlich wird die Hälfte der Stahllamelle der Nordpol, welche auf den Südpol des Elektromagneten gestrichen wurde.

Gesetze des Elektromagnetismus. Die magnetisirende Kraft einer 93
Drahtspirale, wie wir sie oben kennen gelernt haben, hängt offenbar ab von der Anzahl ihrer Drahtwindungen und von der Stärke des Stromes, welcher dieselben durchläuft; wir wollen deshalb geradezu das Product, welches man

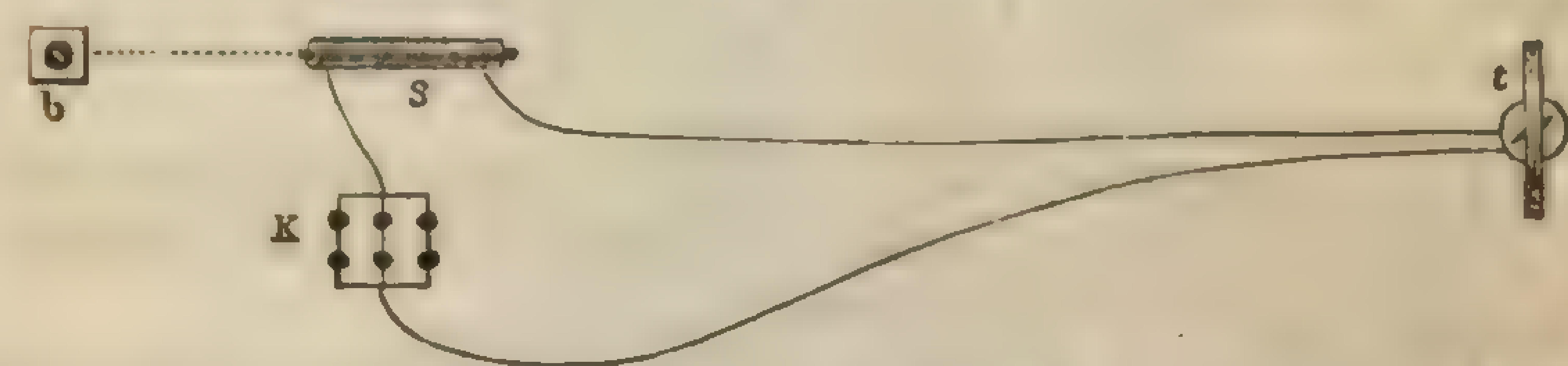
erhält, wenn man die Stromstärke mit der Windungszahl multiplicirt, die magnetisirende Kraft der Spirale nennen.

Lenz und Jacobi haben durch Versuche bewiesen, daß die Weite der Windungen ohne Einfluß auf die Stärke des erzielten Magnetismus in Eisenstäben ist, vorausgesetzt, daß die Enden des Eisenstabes weit genug auf beiden Seiten aus der Spirale hervorragen. Nur wenn das Eisen nicht aus den Windungen hervorragt, ist die Wirkung der engen Windungen etwas größer als die der weiten.

Dieselben Gelehrten haben gefunden, daß der Magnetismus eines Eisenstabes, welcher in einer Magnetisirungsspirale steckt, in demselben Verhältniß wächst, wie der Strom, welcher die Spirale durchläuft. Sie wandten bei ihren Versuchen ziemlich dicke Stäbe und verhältnißmäßig schwache Ströme an. Für dünnere Stäbe aber und stärkere Ströme findet die Proportionalität zwischen Stromstärke und Magnetismus nicht mehr Statt, wie ich durch eine große Reihe von Versuchen bewiesen habe.

Die Anordnung der Versuche übersieht man aus Fig. 251. Der Strom wurde durch sechs Bunsen'sche Becher erzeugt, von denen je drei zu einem

Fig. 251.



Plattenpaare combinirt waren; er ging durch die Magnetisirungsspirale *s* und durch die Tangentenbussole *t*, welche so weit abstand (50 Fuß), daß der Magnetismus der in *s* eingeschobenen Eisenstäbe keinen merklichen Einfluß auf die Nadel in *t* ausüben konnte.

Die Magnetisirungsspirale *s* stand rechtwinklig auf dem magnetischen Meridian; zur Messung des Magnetismus der in *s* eingeschobenen Eisenstäbe diente eine 88 Centimeter entfernte östlich von ihm aufgestellte Bussole *b*.

Ich führe hier nur diejenigen Versuche an, welche mit Eisenstäben von 560^{mm} Länge angestellt wurden, die in eine Spirale von 780 Windungen eingeschoben waren. Sie ragten an jeder Seite noch 15 Millimeter aus der Spirale hervor. Die 3 Eisenstäbe, mit welchen diese Versuche angestellt wurden, hatten folgende Durchmesser:

Nro. 1	9 Millimeter.
Nro. 2	12 »
Nro. 3	15 »

Folgende Tabelle enthält die Resultate der Versuche:

t.	*s*.	*p*.	*b'*.	*b*.	*m*.	$\frac{m}{p}$.
			Stab Nro. 1.			
27°,0	35,665	27819	3°31'	19° 8'	0,2864	1027
23,5	30,436	23740	3 4	18 40	0,2842	1197
7,0	8,596	6705	54	12 36	0,2078	3090
3,2	3,913	3052	24	7 12	0,1193	3909
			Stab Nro. 2.			
26,6	35,423	27638	3 28	29 42	0,5098	1844
14,0	17,451	13612	1 49	24 32	0,4247	3120
7,0	8,596	6705	54	17 17	0,2954	4108
3,4	4,158	3243	26	8 19	0,1386	4270
			Stab Nro. 3.			
26,5	34,902	27223	3 26	38 26	0,7335	2694
23,6	30,583	23855	3 4	36 54	0,6975	2974
7,0	8,596	6705	54	18 0	0,3092	4611
3,4	4,158	3242	26	9 11	0,1541	4748

Ein Stab von 44mm Durchmesser war zu dick, um in die Spirale eingeschoben zu werden, mit welcher die oben angeführten Versuche angestellt waren. Dieser Stab, von gleicher Länge mit den übrigen, gab in einer weiteren Spirale von 372 Windungen folgende Resultate:

t.	*s*.	*p*.	*b'*.	*b*.	*m*.	$\frac{m}{p}$.
33°	45,633	16975	2°52'	54°43'	1,3631	8041
20,2	25,753	9580	1 45	39 22	0,7898	8244
12,0	14,832	5536	1 2	25 44	0,4640	8381
6,5	7,973	2946	34	14 30	0,2487	8102

Die mit *t* überschriebene Columne enthält die an der Tangentenbussole abgelesene Ablenkung; die mit *s* überschriebene enthält die entsprechende Stromstärke, welche man erhält, wenn man die Tangente des Ablenkungswinkels mit 70 multiplicirt. Die magnetisirende Kraft *p*, welche in der folgenden Columne steht, ist durch Multiplication der Stromstärke mit der Anzahl der von dem Strom durchlaufenen Windungen erhalten worden. Die mit *b'* überschriebene Columne giebt die Ablenkung an, welche die Spirale für sich allein an der Bussole *b* Fig. 251 hervorbringt, während man unter *b* die von dem mag-

netisirten Eisenstab und der Spirale zugleich hervorgebrachte Ablenkung dieser Bussole findet. $tang.\ b - tang.\ b'$ giebt das Maaß für den Stabmagnetismus, wie man ihn in der mit m überschriebenen Columne findet. Die letzte Columne endlich enthält die Werthe des Quotienten $\frac{m}{p}$, und zwar, um die vielen Decimalstellen zu vermeiden, mit 100000000 multiplicirt.

Wäre das Gesetz von Lenz allgemein wahr, so müßte für einen und denselben Stab der Werth von $\frac{m}{p}$ constant bleiben; die Unterschiede sind aber so bedeutend, daß an eine Proportionalität des Stabmagnetismus und der Stromstärke nicht mehr zu denken ist. Im Allgemeinen sieht man, daß für größere Werthe von p der Werth von $\frac{m}{p}$ kleiner ausfällt, daß für größere magnetisirende Kräfte, also caeteris paribus für größere Stromstärke, der Stabmagnetismus weit geringer ausfällt, als man nach dem Gesetz der Proportionalität hätte erwarten sollen.

Nach vielen vergeblichen Versuchen ist es mir gelungen, eine Formel aufzufinden, welche sämmtliche Versuchsresultate umfaßt, die sich in obiger Tabelle verzeichnet finden; diese Formel ist

$$p = 220\ d^{3/2}\ tang.\ \frac{m}{0{,}00005\ d^2} \quad . \ . \ . \ (1),$$

in welcher p und m dieselbe Bedeutung haben, wie in obiger Tabelle, während d den Durchmesser des Stabes bezeichnet. Aus dieser Gleichung folgt:

1) Für $p = \infty$ ist $\frac{m}{0{,}00005\ d^2} = 90^0$, also $m = 90\ .\ 0{,}00005\ d^2$; für eine unendliche Stromstärke würde demnach der Stabmagnetismus doch nur einen endlichen Werth erhalten; es giebt also für jeden Eisenstab ein absolutes Maximum des Magnetismus, und dieses magnetische Maximum ist dem Quadrate des Durchmessers, also dem Querschnitt des Stabes, proportional.

2) Wenn der Magnetismus verschiedener Stäbe denselben Theil ihres absoluten magnetischen Maximums erreichen soll, so muß man für alle den Werth von $\frac{m}{0{,}00005\ d^2}$ gleich setzen; alsdann aber verhalten sich die entsprechenden Werthe von p wie $d^{3/2}$; d. h. um in verschieden dicken Eisenstäben denselben aliquoten Theil ihres magnetischen Maximums zu erzeugen, muß man Ströme anwenden, die sich verhalten wie die Quadratwurzel aus der dritten Potenz der Halbmesser. Wenn also z. B. eine bestimmte Stromstärke f in einem Eisenstab einen Magnetismus erzeugt, welcher die Hälfte des absoluten magnetischen Maximums beträgt, so wird man, um in einem zweimal dickeren Stabe gleichfalls

$\frac{1}{2}$ des absoluten magnetischen Maximums zu erreichen, caeteris paribus einen $\sqrt{2^3}$ also einen 2,83mal stärkeren Strom nöthig haben.

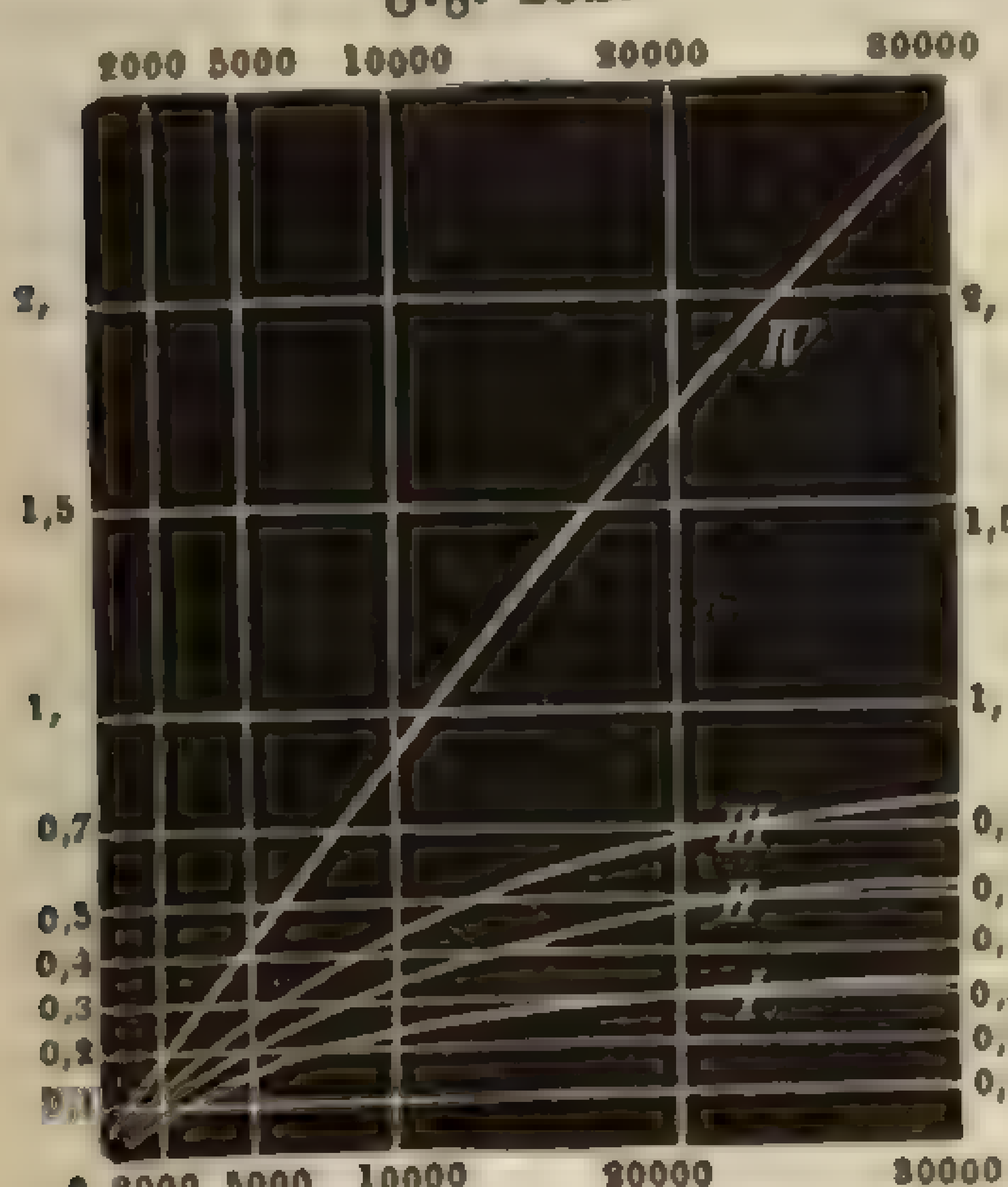
3) So lange $tang. \frac{m}{0,00005\, d^2}$ nur einen kleinen Winkelwerth hat, sind p und m ziemlich nahe proportional und man kann ohne merklichen Fehler

$$p = a\,.\,220\, d^{3/2} \frac{m}{d^2}$$

setzen, wo a einen leicht zu ermittelnden constanten Factor bezeichnet; daraus ergiebt sich aber $$m = \frac{p \cdot \sqrt{d}}{a\,.\,220};$$

so weit man also den Stabmagnetismus der Stromstärke proportional setzen kann, ist der durch gleiche Ströme in verschiedenen Eisenstäben erzeugte Magnetismus der Quadratwurzel aus dem Stabdurchmesser proportional.

Fig. 252.



Um das Verhältniß anschaulicher zu machen, nach welchem der Stabmagnetismus wächst, wenn die Stromstärke zunimmt, ist es nach der Gleichung (1) in Fig. 252 für unsere vier Stäbe graphisch dargestellt; die Abscissen sind der magnetisirenden Kraft, die Ordinaten sind dem Stabmagnetismus proportional aufgetragen. Die unterste Curve entspricht dem dünnsten, die oberste dem dicksten Eisenstab. Vergleicht man diese Figur mit den Zahlen der obigen Tabelle, so ist wohl keine weitere Erläuterung zu ihrem Verständniß nöthig.

Wäre das Lenz'sche Gesetz allgemein gültig, so müßten diese vier Curven gerade Linien seyn, was nur bei der Curve Nr. IV annähernd der Fall ist. Der Anblick der Figur 252 schon zeigt uns, daß wir mit den Stromstärken, mit denen wir operirten, für den dünnsten Stab dem absoluten magnetischen Maximum schon sehr nahe gekommen sind, indem die Curve I auf ihrer rechten Seite schon einen fast horizontalen Lauf hat.

Eine zweite Versuchsreihe, bei welcher die Bussole b durch ein Magnetometer ersetzt worden war, gab gleiches Resultat, d. h. die zusammengehörigen Stromstärken und Magnetometerablenkungen paßten gleichfalls in die Formel

$$t = a d^{3/2}\, tang. \frac{m}{b d^2},$$

wo t die Stromstärke und m den durch die Ablenkung des Magnetometers gemessenen Magnetismus des Eisenstabes in der Spirale bezeichnet; a und b sind constante Factoren, d aber bezeichnet den Durchmesser des Stabes.

Welche Zahlenwerthe für a und b zu setzen sind, hängt davon ab, welche Einheiten man für t und m wählt. Der Factor a ändert sich mit der Einheit, die man für die Stromstärke annimmt, b dagegen ist abhängig von der Einheit, welche man für das magnetische Moment des Eisenstabes wählt.

Für die Versuche, welche mit den schon erwähnten 560 Centimeter langen, in die Spirale von 780 Windungen eingeschobenen Stäben angestellt wurden (die Spirale war im magnetischen Meridian des Magnetometers und zwar nördlich von demselben, also in der Fig. 37 auf Seite 37 entsprechenden Lage aufgestellt), ergab sich

$$t = 0{,}0042\, d^{3/2}\, tang. \frac{m}{0{,}0015\, d^2} \quad \ldots . \text{(a)},$$

wenn für t die Tangente der an der Tangentenbussole abgelesenen Winkel, für m aber die entsprechenden an der Magnetometerscala abgelesenen Ablenkungen gesetzt werden (die Centimeter sind als Ganze, die Millimeter als Zehntel gelesen).

Diese in den letzten Gleichungen vorkommenden Werthe der Factoren a und b sind aber noch ganz und gar von der Individualität der Instrumente und des Versuchs behaftet, sie müssen von derselben befreit werden.

Die Reduction des Factors a auf chemisches Maaß ist sehr einfach; man hat nämlich nur den obigen Zahlenwerth von a mit dem Reductionsfactor der Tangentenbussole (für unseren Fall 70) und alsdann noch mit der Anzahl der Windungen zu multipliciren, durch welche der Strom um das Eisen herumgeführt wird. Wir haben also $a = 0{,}0042 \cdot nq$, wenn n die Anzahl der Windungen und q den Reductionsfactor der Tangentenbussole bezeichnet.

Anstatt m ist das entsprechende magnetische Moment des Stabes in der oben (Seite 43) definirten Einheit zu setzen, um den Magnetismus des Stabes mit der Schwerkraft zu vergleichen, und deshalb muß nun auch der Factor b eine entsprechende Umformung erleiden.

Ein von der Umdrehungsaxe des Magnetometers, an welcher auch der Spiegel angebracht ist, auf die Scala gefälltes Perpendikel war 2,08 Meter lang, folglich ist die Tangente des Ablenkungswinkels, welchem 1 Millimeter der Scala entspricht, gleich $\frac{1}{4160} = 0{,}00024038$. Die Tangente des Ablenkungswinkels, welche einem Centimeter, also der Einheit entspricht, in welcher unsere Werthe von m ausgedrückt sind, ist demnach mit 0,0024038 zu multipliciren, um die trigonometrische Tangente des Ablenkungswinkels zu erhalten, oder es ist

$$tang.\ v = m \,.\, 0{,}0024038.$$

Das auf die Schwere reducirte magnetische Moment eines Magnetstabes ist aber (Seite 43)

$$M = T \,.\, r^3 \, tang. \, v = T \,.\, r^3 \,.\, m \,.\, 0{,}0024038.$$

Setzen wir $T = 7{,}03$ (den Werth für das Beobachtungslocal zu Freiburg) und $r = 2{,}17$ (da die Spirale 2,17 Meter von der Umdrehungsaxe des Magnetometers entfernt war), so kommt

$$M = 0{,}1722 \; m.$$

Will man aber M statt m in die Gleichung (a) einführen, so müssen wir den Nenner des Bruches $\frac{m}{0{,}0015\, d^2}$ in gleichem Verhältniß vergrößern, wie den Zähler, wir müssen also den Nenner gleichfalls mit 0,1722 multipliciren, oder mit anderen Worten, wir können statt $\frac{m}{0{,}0015\, d^2}$ setzen $\frac{M}{0{,}000258\, d^2}$. Nach Einführung dieser neuen Einheiten geht also die Gleichung (a) über in

$$P = 0{,}0042\, n \,.\, q d^{3/2} \, tang. \frac{M}{0{,}000258\, d^2} \; \ldots \; \text{(b)},$$

wo P die mit der Windungszahl multiplicirte, nach chemischem Maaß gemessene Stromstärke bezeichnet.

Untersuchen wir zunächst, welches das magnetische Moment eines bis zu seinem Maximum magnetisirten Eisenstabes (von 56 Centimeter Länge) ist. Der größte Werth, den $\frac{M}{0{,}000258\, d^2}$ erlangen kann, ist 90^0; daraus folgt aber als Maximum von M der Werth $90 \,.\, 0{,}000258\, d^2$; die Kraft, mit welcher der Erdmagnetismus den bis zum Maximum magnetisirten Stab zu drehen strebt, wenn er rechtwinklig auf dem magnetischen Meridian steht, ist aber

$$TM = 7{,}03 \,.\, 90 \,.\, 0{,}000258\, d^2.$$

Für einen 10 Millimeter dicken Eisenstab der gegebenen Länge ist also

$$TM = 16{,}32,$$

d. h. hätte ein 56 Centimeter langer, 10^{mm} dicker Eisenstab das Maximum des Magnetismus erlangt, dessen er überhaupt fähig ist, so würde die Kraft, mit welcher der Erdmagnetismus ihn zu drehen strebt, wenn er rechtwinklig auf dem magnetischen Meridian steht, gleich seyn dem Druck von 16,32 Grammen, welche an einen Hebelarm von 1 Centimeter angreifen.

Nach der Gleichung (b) kann man auch leicht berechnen, welche Stromstärke nöthig ist, um einen Eisenstab von 56 Centimeter Länge in der besprochenen Spirale von 780 Windungen bis zu einem aliquoten Theile seines absoluten Maximums zu magnetisiren. Man hat nur $\frac{M}{0{,}000258\, d^2}$ gleich 18^0, 36^0, 54^0 u. s. w. zu setzen, je nachdem man die Stromstärke ermitteln will, welche nöthig ist, um $^2/_{10}$, $^4/_{10}$, $^6/_{10}$ u. s. w. des absoluten Maximums zu erhalten.

Auf diese Weise ist die folgende Tabelle berechnet:

Durchmesser der Eisenstäbe.	0,2.	0,4.	0,6.	0,8.	0,9.
5mm	1,1	2,4	4,5	10,0	20,7
10	3,0	6,7	12,8	28,6	58,7
20	8,5	19,1	36,2	80,9	166,0
30	15,7	35,9	66,5	148,6	304,9
50	33,8	75,5	143,0	319,8	656,2

Die erste Vertikalreihe enthält die Durchmesser der Stäbe, in den folgenden Vertikalreihen findet man dann die Stromstärken angegeben, welche nöthig sind, um die Eisenstäbe bis zu dem aliquoten Theil des absoluten Maximums zu magnetisiren, welch letzterer am Kopf einer jeden Vertikalreihe steht. Um einen 5mm dicken Eisenstab auf 0,2 seines absoluten Maximums zu bringen, bedarf man also nur die geringe Stromstärke 1,1, während man die Stromstärke 33,8 anwenden muß, um einen Stab von 50 Millimeter Durchmesser bis zu demselben Grade zu magnetisiren. Mit der Stromstärke 20,7 kann man den 5mm dicken Eisenstab schon bis zu 0,9 seines absoluten Maximums magnetisiren; um aber das Gleiche bei dem 50 Millimeter dicken zu erreichen, müßte man schon die ungeheure Stromstärke 656 anwenden.

Die Gleichung (b) und folglich auch die nach ihr berechneten Zahlen der vorigen Tabelle beziehen sich aber nur auf 56 Centimeter lange Stäbe, die sich in einer 54 Centimeter langen Spirale befinden.

Werden die Längendimensionen der Stäbe und der Spirale geändert, so ändern sich auch die Werthe der Constanten der Gleichung (2). Für eine 30 Centimeter lange Spirale, in welche 33 Centimeter lange Stäbe eingeschoben waren, ergab sich die Gleichung

$$P = 0{,}016 \;.\; n \;.\; q d^{3/2} \; tang. \frac{M}{0{,}000185\, d^2}.$$

Wir sehen, daß der Factor von $d^{3/2}$ in einem etwas stärkeren, als dem umgekehrten Verhältniß des Quadrats der Stablänge (33 und 56) gewachsen ist. — Nehmen wir an, daß dies wirklich der Fall sey, vorausgesetzt, daß die Länge der Spirale und der Stäbe stets in gleichem Verhältniß bleiben, so würde der Factor von $d^{3/2}$ nach den Versuchen mit den längeren Stäben stets $\frac{13{,}65}{l^2}$, nach den Versuchen mit den kürzeren $\frac{17{,}44}{l^2}$, im Mittel also $\frac{15{,}5}{l^2}$ seyn.

Ebenso können wir den Factor b als erste Annäherung der Stablänge di-

rect proportional annehmen, ihn also im Mittel 0,000005 l setzen; man hätte also allgemein

$$P = \frac{15{,}5}{l^2} n \, . \, r \, d^{3/2} \, tang. \frac{M}{0{,}000005 \, l \, d^2} \, . \, . \, . \, . \, . \, (c)$$

wo l die in Centimetern ausgedrückte Stablänge bezeichnet.

Die Gleichung (c) kann freilich nur als eine erste Annäherung gelten, die aber doch in manchen Fällen erwünscht ist. Der Einfluß der Längendimensionen auf die constanten Factoren in Gleichung (a) ist überhaupt erst noch genauer zu untersuchen.

Es sey z. B. in eine 15 Centimeter lange Spirale von 200 Windungen ein 5^{mm} dicker und 16,5 Centimeter langer Eisenstab eingeschoben; die Stärke des Stromes, welcher die Spirale durchläuft, sey 100, so haben wir nach Gleichung (c)

$$P = 100 \, . \, 200 = \frac{15{,}5}{16{,}5^2} 70 \, . \, 200 \, . \, 5^{3/2} \, tang. \, x;$$

daraus

$$tang. \, x = \frac{10 \, . \, 272}{7 \, . \, 15{,}5 \, . \, 11{,}2} = 2{,}238,$$

also x ungefähr 66°; der Eisenstab wird also unter diesen Umständen beinahe bis auf 0,7 seines absoluten Maximums magnetisirt werden.

Will man bloß zeigen, daß über gewisse Gränzen hinaus der Magnetismus eines Eisenstabes in einem langsameren Verhältniß wächst, als die Stärke des Stromes, welcher ihn umkreist, so ist dazu das folgende von Koosen angegebene Verfahren sehr zweckmäßig. Man stelle die Magnetisirungsspirale mit dem Eisenstab nahe bei der Tangentenbussole auf, und leite den Strom so durch die Spirale, daß der Magnetismus des Eisenstabes die Nadel in einer Richtung abzulenken strebt, welche der Richtung der Ablenkung entgegengesetzt ist, welche der den Ring der Tangentenbussole durchlaufende Strom für sich zu erzwingen strebt. Bei geringerer Stromstärke wird nun die Spirale mit dem Stab in solche Entfernung gebracht, daß die Nadel auf dem Nullpunkt stehen bleibt. Wird nun der Strom verstärkt, so müßte die Nadel auf Null bleiben, wenn die Stärke des Elektromagneten in gleichem Verhältniß wächst, wie die Stromstärke; bei dünnen Stäben, die von einer genügenden Anzahl von Windungen umgeben sind, sieht man aber bei Vermehrung der Stromstärke die Nadel alsbald in einer Richtung abweichen, welche ein Ueberwiegen der Wirkung des Stromes im Ring der Bussole über die Wirkung des Elektromagneten andeutet.

Tragkraft der Elektromagnete. Die Tragkraft eines Elektromagneten 94
ist keine so einfache Function der Dimensionen des Eisenkerns und der magnetisirenden Kraft der Spirale, wie es das magnetische Moment eines Eisenstabes ist; sie hängt noch auf eine keineswegs genügend erforschte Weise von der Masse und der Gestalt des Ankers ab.

Daß im Allgemeinen die Tragkraft mit der Masse des Ankers wachsen muß, ist klar.

Barral erhielt mit einem Elektromagneten, dessen Eisenkern 7,8 Kilogrammen wog, bei gleicher Stromstärke folgende Resultate:

Gewicht des Ankers.	Tragkraft.
0,2 Kilogrm.	33 Kilogrm.
0,9 »	66 »
2,8 »	183 »
4,8 »	235 »
6,8 »	267 »
9,2 »	295 »

Die Tragkraft nähert sich also einem Maximum, welches nahezu erreicht wird, wenn die Masse des Ankers der Masse des Eisenkerns des Elektromagneten gleich ist.

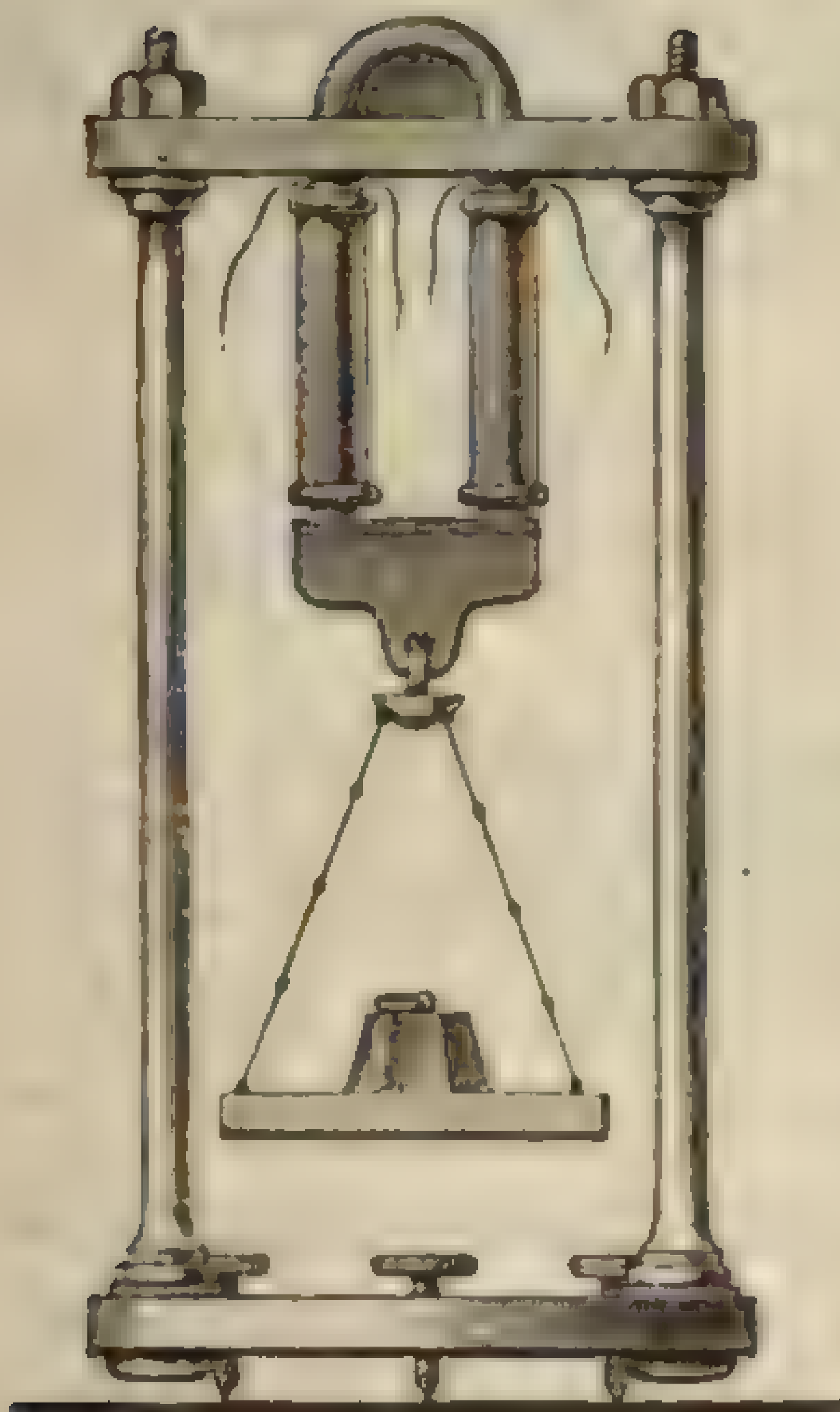
Dub hat die Tragkraft eines einzelnen Poles an einem cylindrischen Elektromagneten bei cylindrischen Ankern untersucht und gefunden, daß bei gleichem Querschnitt der Anker die Tragkraft mit der Länge derselben zunimmt, jedoch nur bis zu einem bestimmten Maximum. Bei Ankern von 1 Zoll Durchmesser z. B. wird das Maximum der Tragkraft bei einer Länge von 21 Zoll erreicht; denn bei fernerer Vergrößerung der Länge fand keine Vermehrung der Tragkraft mehr Statt.

Dub's Versuche zeigen ferner, daß bei gleicher Stromstärke und gleicher Ankerlänge der dünnere Magnet oft mehr trägt als der dickere. In solchen Fällen bewirkt aber die Verkleinerung der Durchmesser nur deshalb eine Vermehrung der Tragkraft, weil sie mit einer Verkleinerung der Berührungsfläche verbunden ist. So erhielt er z. B. mit einem Elektromagneten von 1 Zoll Durchmesser und 12 Zoll Länge mit verschiedenen 6 Zoll langen Ankern folgende Resultate:

Anker Nro. 1	ganz cylindrisch, 1/2 Zoll Durchmesser	4,8 Pfund Tragkraft.
Anker Nro. 2	ganz cylindrisch, 1 Zoll Durchmesser	3,3 » »
Anker Nro. 3	1 Zoll Durchmesser, oben conisch verjüngt, so daß die Berührungsfläche 1/2 Zoll Durchmesser hatte	7,0 » »

Da mit wachsender Stromstärke die magnetische Erregung dünnerer Eisenkerne sich sehr bald einem Maximum nähert, so ist klar, daß auch die

Fig. 253.



Tragkraft dünnerer Elektromagnete, seyen sie nun gerade oder hufeisenförmig gekrümmt, sich rasch einem Maximum nähern muß, wie dies auch durch folgende mit dem Apparat Figur 253 angestellte Versuche bestätigt wird.

Die geraden Schenkel des Uförmig gebogenen Eisens hatten eine Länge von 16,5 Centimetern und waren 6,5 Millimeter dick. Auf jedem Schenkel war eine Magnetisirungsspirale von 14 Centimeter Länge geschoben, welche durch 246 in zwei Lagen über einander gewickelte Windungen gebildet wurde. In den Schließungsbogen war eine Tangentenbussole eingeschaltet. Es ergaben sich folgende zusammengehörige Ablenkungen und Tragkräfte:

Ablenkung.	Tragkraft.
2,5°	2300 Gramm.
4,1°	3100 »
5,5°	3700 »
6,4°	4000 »
9,5°	4600 »
14,0°	5200 »
19,0°	5400 »

Während also die Stromstärke ungefähr im Verhältniß von 1 zu 8 wuchs, nahm die Tragkraft nur im Verhältniß von 1 zu 2,35 zu.

Als die Spiralen mit anderen vertauscht wurden, welche bei gleicher Windungszahl nur halb so lang waren (4 Lagen), wurde bei gleicher Stromstärke nahezu dieselbe Tragkraft erhalten wie vorher.

Ein Grund, warum die Tragkraft hufeisenförmiger Elektromagnete sich noch weit rascher ihrem Maximum nähert als das magnetische Moment gleich langer Eisenstäbe, liegt, wie Poggendorff gezeigt hat, darin, daß durch die Rückwirkung des Ankers auf den Elektromagneten noch eine bedeutende Erhöhung seiner magnetischen Erregung stattfindet. Um dies nachzuweisen, schob er über die Magnetisirungsspirale noch eine zweite (Inductions-) Spirale, in deren Schließungsbogen irgend ein Rheometer eingeschaltet war. In dem Moment

nun, in welchem der Strom der Kette durch die Magnetisirungsspirale zu gehen beginnt und der Eisenkern magnetisch wird, wird, wie wir im nächsten Kapitel sehen werden, in der zweiten Spirale ein Strom inducirt, dessen Stärke dem im Eisenkern erregten Magnetismus proportional ist. Durch diesen Inductionsstrom ist es also möglich, die Stärke des Magnetismus im Eisenkern zu messen.

Bei Anwendung eines schwachen Stromes ergab sich z. B. auf diese Weise, daß die magnetische Erregung des Eisenkerns 7,3mal so stark war, wenn das Hufeisen durch den Anker geschlossen wurde, als wenn der Anker fehlte.

Durch diese Rückwirkung des Ankers wird also natürlich der Magnetismus des Eisenkerns weit rascher seinem Maximum entgegengeführt, als es außerdem der Fall seyn würde. Klar ist auch, daß die Rückwirkung des Ankers für schwache Ströme verhältnißmäßig weit stärker seyn muß, als für stärkere.

Wenn bei vorgelegtem Anker der magnetisirende Strom unterbrochen wird, so verliert der Elektromagnet keineswegs seinen ganzen Magnetismus, wie es der Fall seyn würde, wenn der Anker fehlte, und wenn das Eisen auch ganz frei von Coërcitivkraft wäre; der Anker wird also immer noch mit einiger Kraft angezogen und der Magnetismus des Eisens verliert sich erst vollständig, wenn man den Anker abreißt.

Wenn elektromagnetische Pole einander gegenüberstehen, ohne sich zu berühren, so wird ihre gegenseitige Anziehung oder Abstoßung dem Product ihrer Magnetismen proportional seyn. Ist es nun derselbe Strom, welcher beide Elektromagnete umkreist, und sind die Eisenkerne dick genug, um ihren Magnetismus der Stromstärke proportional setzen zu können, so ist klar, daß die gegenseitige Anziehung oder Abstoßung der beiden Pole dem Quadrate der Stromstärke proportional seyn wird.

95 **Vertheilung des Magnetismus im Querschnitt der Eisenstäbe.** Feilitzsch hat nachgewiesen, daß der Magnetismus durchaus nicht gleichförmig im Querschnitt der Elektromagnete vertheilt ist, sondern daß die äußeren Schichten einen stärkeren Magnetismus zeigen als die inneren, daß bei schwacher magnetisirender Kraft nur in den äußeren Schichten eine magnetische Erregung stattfindet. (Poggendorff's Annalen LXXX, 321.)

Die Magnetisirungsspirale, die er zu seinen Versuchen anwandte, war 102 Millimeter lang und war aus 176 Windungen eines $1^3/_4$ Millimeter dicken Drahtes gebildet (4 Lagen, jede zu 44 Windungen). In die Höhlung derselben wurde eine Reihe aus Eisenblech verfertigter Cylinder gesteckt, von welchen immer einer genau in den anderen paßte. Der äußerste hatte einen Durchmesser von 31, der innerste, d. h. der 7te, hatte einen Durchmesser von 19 Millime-

tern. Die Blechdicke betrug etwas mehr als $1/2$ Millimeter. Sämmtliche Cylinder waren 110 Millimeter lang. Während ein Strom von bestimmter Stärke die Windungen durchlief, wurde nun erst der weiteste Cylinder eingeschoben und die Stärke seines Magnetismus bestimmt; dann der zweite in den ersten und nun die Bestimmung des Magnetismus der beiden Hülsen vorgenommen; darauf wurde die dritte Hülse hinzugefügt u. s. w.

Die folgende Tabelle enthält die Resultate einer solchen Versuchsreihe.

Stromstärke.	Nummer der gleichzeitig eingeschobenen Eisencylinder.	Gesammtmagnetismus der Cylinder.	Nummer der einzelnen Cylinder.	Magnetismus in denselben.
1,212	1	2,639	1	2,639
	1+2	2,911	2	0,272
	1+2+3	2,971	3	0,060
2,975	1	4,742	1	4,742
	1+2	6,604	2	1,961
	1+2+3	7,024	3	0,420
	1+2+3+4	7,199	4	0,175
6,783	1	6,059	1	6,059
	1+2	10,710	2	4,651
	1+2+3	14,129	3	3,419
	1+2+3+4	15,942	4	1,813
	1+2+3+4+5	16,577	5	0,635
	1+2+3+4+5+6	16,860	6	0,283
	1+2+3+4+5+6+7	17,011	7	0,151
8,510	1	6,347	1	6,347
	1+2	11,413	2	5,066
	1+2+3	15,500	3	4,087
	1+2+3+4	18,453	4	2,935
	1+2+3+4+5	20,019	5	1,566
	1+2+3+4+5+6	20,800	6	0,781
	1+2+3+4+5+6+7	21,135	7	0,335

Diese Tabelle ist wohl ohne weitere Erläuterung verständlich, und da es ja hier nur um Verhältnißzahlen zu thun ist, so ist es auch nicht nöthig, die Einheiten näher zu definiren, auf welche sich die Werthe der Stromstärke und des Magnetismus beziehen.

Aus den Zahlen dieser Tabelle lassen sich nun leicht folgende Schlüsse ziehen:

1) Der Magnetismus dringt um so tiefer in das Eisen ein, je stärker die magnetisirende Kraft der Spirale ist.

2) Jede Schicht des weichen Eisens hat einen Sättigungspunkt und diesem Sättigungspunkt nähern sich die äußersten Schichten am schnellsten. Bei schwächeren magnetisirenden Kräften bleibt der Kern ganz unmagnetisch.

96 **Magnetische Wirkungen der Reibungselektricität.** Um eine Ablenkung der Magnetnadel durch Reibungselektricität hervorzubringen, muß man einen Multiplicator von sehr vielen Windungen anwenden, die möglichst gut isolirt seyn müssen, was am besten dadurch erreicht wird, daß jede Lage von Drahtwindungen mit Schellackfirniß angestrichen, und die folgende Lage erst aufgewickelt wird, wenn er genügend getrocknet ist.

Wird nun das eine Drahtende eines solchen Multiplicators mit dem Conductor, das andere mit dem Reibzeug einer Elektrisirmaschine in leitende Verbindung gebracht, so kann man beim Drehen derselben eine Ablenkung von 10 bis 20 Graden erhalten.

Wenn durch den Entladungsstrom einer Leidener Flasche oder einer Flaschenbatterie die Nadel eines Multiplicators abgelenkt werden soll, so muß man die Entladung durch Einschaltung schlechter Leiter, etwa feuchter Schnüre oder mit Wasser gefüllter Glasröhren u. s. w., verzögern.

Stahlnadeln können dadurch magnetisirt werden, daß man den Entladungsschlag einer Batterie in vielen Windungen um sie herumführt. Eine Spirale, welche zur Magnetisirung mit Reibungselektricität dienen soll, erhält man am besten, wenn man den Draht in 50 bis 100 wohl isolirten Windungen auf eine Glasröhre aufwickelt, in welche man die zu magnetisirenden Nadeln (am bequemsten sind Nähnadeln zu diesen Versuchen) hineinlegt. Die Entladung darf übrigens bei diesen Versuchen nicht verzögert werden.

Für schwächere Ladungen der Batterien werden die Nadeln normal, d. h. dem Ampère'schen Gesetze entsprechend magnetisirt, allein nicht immer entspricht einer stärkeren Ladung auch eine stärkere Magnetisirung, und wenn die Ladung über eine gewisse Gränze hinaus getrieben wird, so finden sogar anormale Magnetisirungen Statt, d. h. die Polarität der Nadel zeigt sich derjenigen entgegengesetzt, welche man nach dem Ampère'schen Gesetze hätte erwarten sollen.

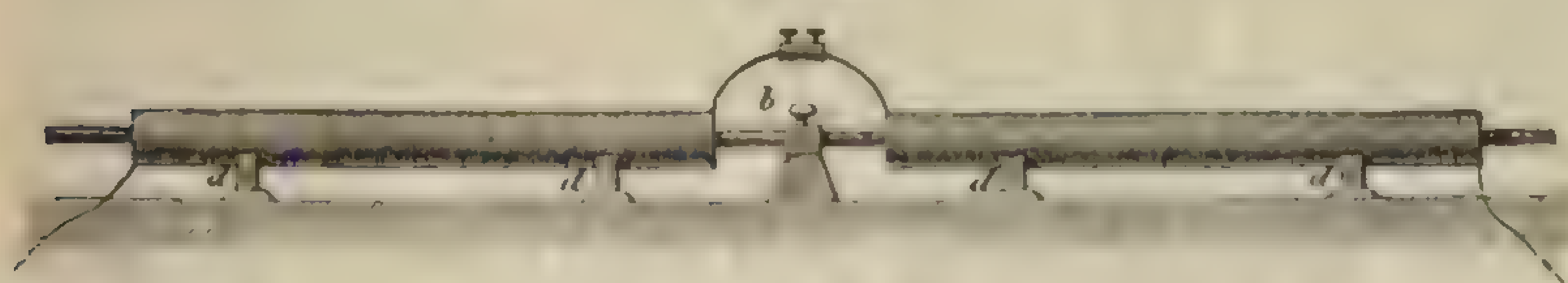
Mit Versuchen über die Magnetisirung durch den Entladungsschlag der Batterie haben sich besonders Savary, Rieß und Hankel beschäftigt.

97 **Galvanisches Tönen.** Die Magnetisirung des Eisens durch eine galvanische Spirale ist oft von einer eigenthümlichen Tonbildung begleitet. Die erste hierher gehörige Beobachtung wurde von Page gemacht.

Marrian beobachtete das Tönen von Eisenstäben, welche sich in einer Magnetisirungsspirale befinden, wenn der Strom, welcher dieselbe durchläuft, abwechselnd unterbrochen und wieder hergestellt wird. Seine Stäbe waren $\frac{1}{4}$ bis 2 Zoll dick und hatten eine Länge von $\frac{1}{2}$ bis 20 Fuß. Sie gaben dabei immer den Ton, welcher auch durch Streichen ihres Endes erhalten wird, also den Longitudinalton der Stäbe.

Wertheim hat diese Tonbildung näher untersucht. Fig. 254 stellt den

Fig. 254.



von ihm angewandten Apparat dar. Die Eisenstäbe waren in der Mitte ihrer Länge bei b festgeklemmt. Ueber beide, oder auch nur über das eine Stabende ist eine kräftige Magnetisirungsspirale so geschoben, daß die Achse des Stabes und die Achse der Spirale zusammenfallen.

Sobald man den Strom, welcher die Spirale durchläuft, discontinuirlich macht, läßt der Stab einen Ton hören, welcher, wie schon Marrian bemerkte, dem durch Reiben des Stabes erzeugten Longitudinalton desselben gleich ist. Er ist unabhängig von der Geschwindigkeit, mit welcher die Unterbrechungen auf einander folgen.

Die Unterbrechungen und Wiederschließungen des Stromes können mittelst eines in dem Schließungsbogen eingeschalteten Quecksilbernäpfchens oder mittelst eines Unterbrechungsrades, wie wir es im nächsten Kapitel werden kennen lernen, zu Stande gebracht werden. Natürlich muß man dafür sorgen, daß das Unterbrechungsrad in gehöriger Entfernung, etwa in einem anderen Zimmer aufgestellt ist, damit das Geräusch desselben die Beobachtung des galvanischen Tones nicht stört.

Der longitudinale Ton ist fast immer begleitet von einem Stoß und trockenem Geräusch, welches nicht den Charakter eines bestimmten musikalischen Tones hat.

Das Resultat bleibt für alle Querdimensionen dasselbe.

Stahlstäbe geben gleichfalls sehr schöne Töne; dagegen geben Stäbe von Zink, Kupfer, Messing, Glas u. s. w. selbst mit Säulen von 20 Bunsen'schen Elementen keinen Ton.

Befindet sich der Stab außerhalb der Achse der Spirale, so ist der longitudinale Ton weniger rein und von Querschwingungen begleitet, die schon dem bloßen Auge sichtbar sind; allein diese Schwingungen geben einen so schwachen Transversalton, daß man ihn nicht anders hören kann, als wenn man das Ohr auf das den Apparat tragende Brett legt.

Der Ton bleibt sich gleich, es mag der Strom in gleichem oder entgegengesetztem Sinn die beiden Hälften des Stabes umkreisen, oder endlich nur auf

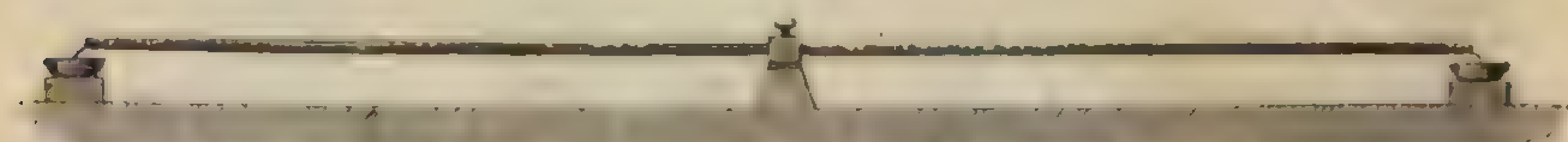
eine Hälfte oder irgend einen Theil des Stabes wirken, sobald nur dieser Theil hinlänglich vom Einspannungspunkt entfernt und der Strom hinlänglich stark ist.

Aehnliche Resultate wurden mit Eisen- und Stahldrähten erhalten, welche in der Axe der Magnetisirungsspirale ausgespannt waren. — Wertheim wandte Drähte von 0,5 bis 3 Millimetern Dicke an. Sobald die Spannung so stark war, daß der am Draht hinabgeführte Violinbogen nur den Längston ohne ein anderes Geräusch vernehmen ließ, war der vom unterbrochenen Strom erregte Ton auch ganz rein; wenn aber die Spannung vermindert wird, ist sowohl der vom Violinbogen als auch der durch den Strom erzeugte Ton von einem anderen Geräusch begleitet. Dieses Geräusch ist nicht bloß der Querton, sondern ein ganz eigenthümliches, schwer bestimmbares Geräusch, gewissermaßen ein dem Draht entlang laufendes Geklirr, welches vorzugsweise bei rasch auf einander folgenden Unterbrechungen merklich wird. Bei dünnen Drähten ist dieses Geräusch schwer zu beobachten, während der Längston selbst bei schwachen Spannungen andauert. — Wohl angelassene Drähte von 1^{mm} Durchmesser geben im Allgemeinen die besten Resultate.

Drähte von Blei, Zinn, Zink, Kupfer, Messing, Silber und Platin geben, nach Wertheim's Versuchen, keinen Ton.

Auch mit dem durchgeleiteten Strom brachte Wertheim Töne hervor. Um sie in einem Eisenstabe zu erzeugen, befestigte er einen dünnen Messinghaken an jedem Ende des Stabes, Fig. 255, und tauchte dieselben in Quecksilbernäpfchen.

Fig. 255.



Jedesmal, wenn der Strom hergestellt und wieder unterbrochen wird, hört man den Längston. »Bei diesen Versuchen muß man sich aber sehr hüten,« sagt Wertheim, »den eigenen Ton des Stabes zu verwechseln mit dem Geräusch des Funkens, welches sich gleich jedem anderen Ton mit großer Leichtigkeit durch starre Körper fortpflanzt. Dieser Fehler wird leicht begangen, besonders wenn der Stab oder der Draht auf einem Resonanzkasten befestigt ist.«

Bei gleichem Strom nimmt die Stärke des Tones ab, wenn der Stab dicker ist.

Nach Wertheim's Untersuchungen erfährt der Eisenstab im Momente der Magnetisirung eine sehr kleine Verlängerung, welche ohne Zweifel die Ursache der Tonbildung ist. Diese Verlängerung ging selten über 0,002 Millimeter, und war, obwohl deutlich sichtbar, doch fast unmeßbar.

Nach Joule's Messungen beträgt die Verlängerung eines bis zur Sättigung magnetisirten Eisenstabes $^1/_{270000}$ seiner Länge.

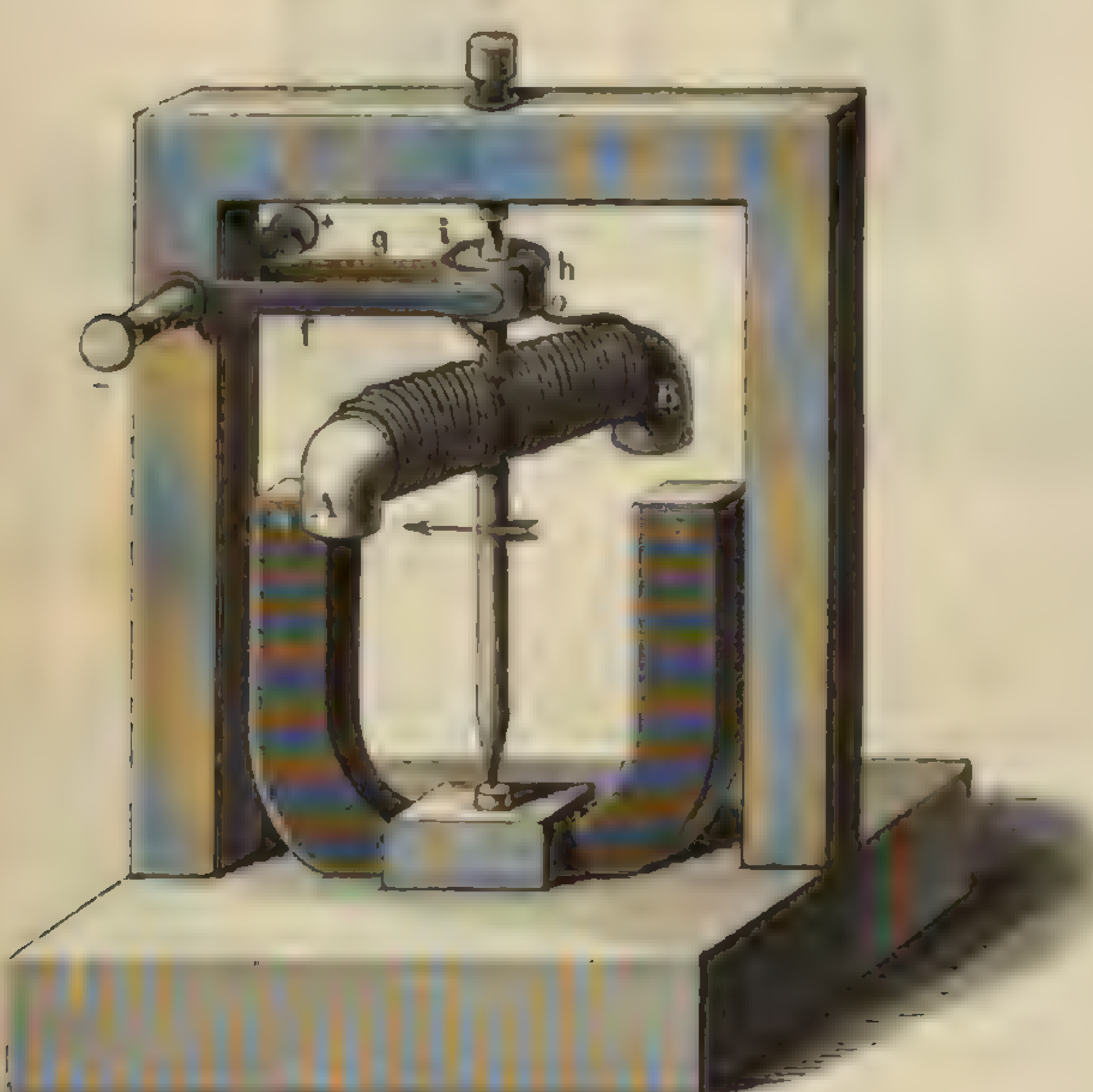
Befindet sich der Eisenstab nicht in der Achse der Drahtrolle, sondern auf der Seite, so ist die Verlängerung von einer weit bedeutenderen Seitenbewegung begleitet.

Benutzung des Elektromagnetismus als Triebkraft. Die kräfti- 98
gen Anziehungs- und Abstoßungserscheinungen, welche man an Elektromagneten beobachtet, führten auf den Gedanken, dieselben zum Betriebe von Maschinen zu verwenden. Dal Negro construirte bereits im Jahre 1834 einen kleinen Apparat der Art, welcher in der Minute 180 Gramm 1 Meter hoch hob. In Deutschland war Jacobi der Erste, welcher einen elektromagnetischen Motor construirte. Er publicirte die Beschreibung desselben im Jahre 1835.

Im Wesentlichen gründen sich alle die hierher gehörigen Apparate darauf, daß, nachdem die durch eine magnetische Anziehung hervorgebrachte Bewegung vollendet ist, durch Stromwechsel, also durch Umkehrung der einen Polarität, wieder eine Abstoßung erzeugt und sofort durch jeweilige Umkehrung der Polarität eine continuirliche Bewegung hervorgebracht wird.

Die Grundidee der elektromagnetischen Motoren läßt sich am bequemsten durch Ritchie's rotirenden Elektromagneten anschaulich machen, welcher mit einigen Modificationen Fig. 256 abgebildet ist.

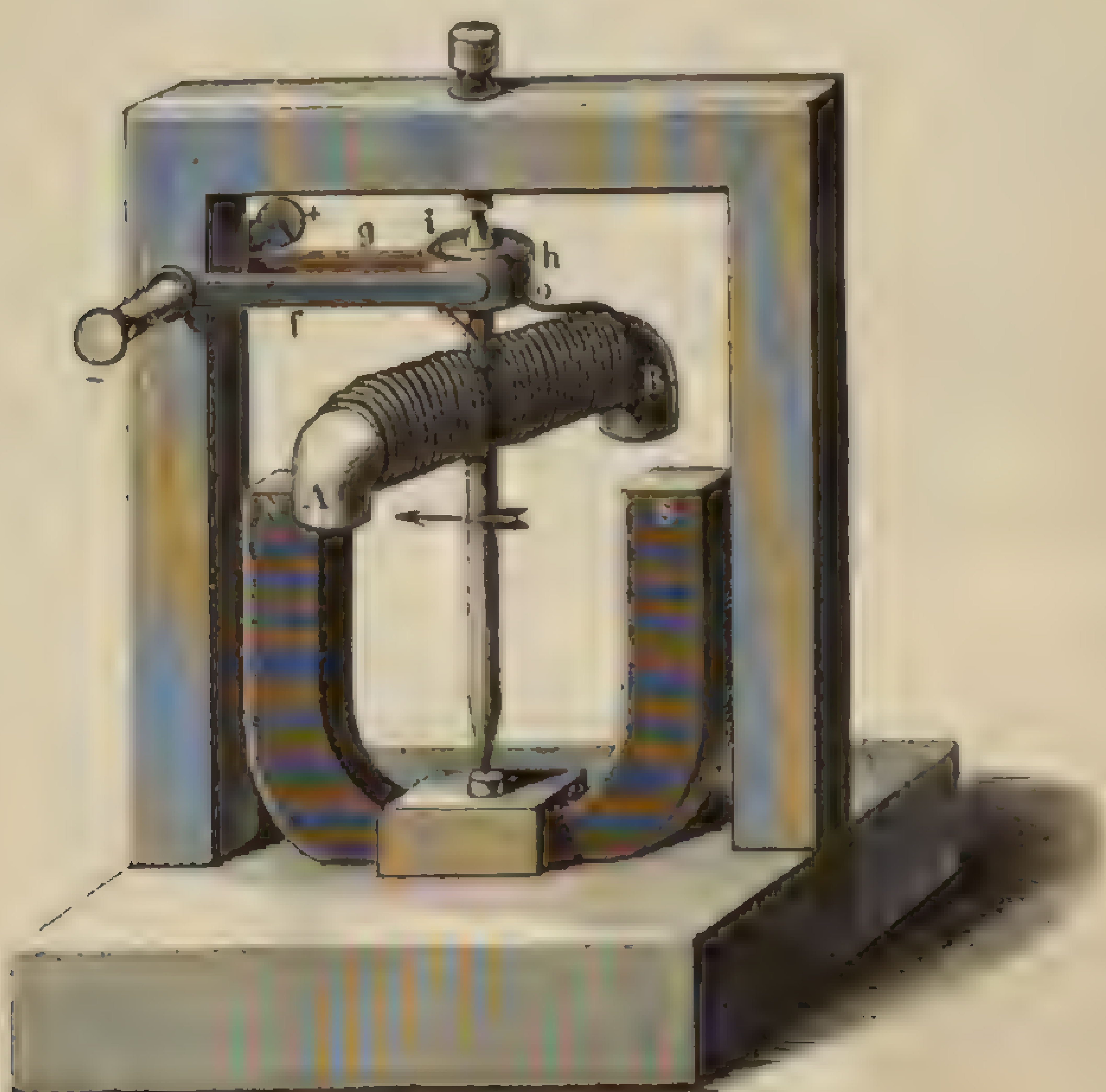
Fig. 256.



Ein Uförmiger Stahlmagnet ist auf einem Brette so befestigt, daß er vertikal steht und seine Pole nach oben gerichtet sind. In der Mitte zwischen den

beiden Schenkeln desselben befindet sich eine vertikale eiserne Achse, welche in Spitzen läuft, und an welcher ein horizontaler Elektromagnet befestigt ist, dessen Pole bei der Rotation um die vertikale Axe gerade über den Polen des Stahlmagneten hinweggehen. — Gerade über dem Elektromagneten ist auf der eisernen Achse eine Scheibe von Holz befestigt, welche von einem Messingringe umgeben ist. Dieser Ring bildet aber kein Ganzes, sondern er besteht aus zwei Hälften *h* und *i*, welche durch zwei einander diametral gegenüberliegende

Fig. 256.



Zwischenräume von einander getrennt sind, also nicht in leitender Verbindung stehen, wie man in der Figur deutlich sieht.

Das eine Ende *o* der Drahtwindungen, welche den Eisenkern des Elektromagneten umkreisen, ist nun an dem Halbringe *h*, das andere Drahtende ist an dem Halbringe *i* angelöthet.

Auf dem Umfange der eben besprochenen Scheibe schleifen nun zu beiden Seiten zwei Metallfedern *f* und *g*, auf deren äußeren Enden die Klemmschrauben befestigt sind, welche zur Aufnahme der Poldrähte der Batterie dienen.

Nehmen wir an, in die vordere Klemmschraube sey der negative, in die hintere sey der positive Poldraht eingeschraubt, so wird bei der in unserer Figur dargestellten Lage der positive Strom durch die Feder *g* zum Halbring *h* und von diesem durch *o* in die Windungen gelangen, während die vordere Feder auf dem Halbringe *i* schleift, also der positive Strom aus den Windungen über *i* und durch die Feder *f* austritt. Unter diesen Umständen wird das vordere Ende *A* des umströmten Eisens ein Südpol, *A* wird also von *N* und *B* von *S* angezogen, der Elektromagnet dreht sich also in der durch den Pfeil angegebenen Richtung.

In dem Moment, in welchem *A* über *N* und *B* über *S* passiren, gehen die isolirenden Zwischenräume zwischen *h* und *i* unter den Federn weg, die Feder *f* kommt auf *h* und *g* kommt auf *i* zu liegen, was einen Stromwechsel und eine Umkehrung der Polarität des Elektromagneten zur Folge hat. *A* wird nun von *N* und *B* wird von *S* abgestoßen, was zur Folge hat, daß die Rotation in gleicher Richtung fortdauert. Sobald *A* wieder über *S* und *B* über *N* ankommt, findet abermaliger Polwechsel Statt, durch welchen der Elektromagnet abermals in gleicher Richtung fortgetrieben wird.

Es versteht sich von selbst, daß man den Stahlmagneten in diesem Apparate auch durch einen Elektromagneten ersetzen kann, in welchem kein Polwechsel stattfindet.

Bei dem Jacobi'schen Apparate war die Umdrehungsaxe horizontal und statt eines festen und eines beweglichen Elektromagneten kamen 4 feste und 4 rotirende in Anwendung. Mit einer solchen elektromagnetischen Maschine, welche durch eine Batterie von 64 constanten Zinkplatinelementen getrieben wurde, brachte er es im Jahre 1839 dahin, ein Boot auf der Newa mit $\frac{3}{4}$ bis 1 Pferdekraft in Bewegung zu setzen. So war allerdings die Möglichkeit des Maschinenbetriebs durch Elektromagnetismus dargethan; allein diese Triebkraft stellte sich als viel zu kostspielig heraus, als daß man vor der Hand an eine praktische Anwendung derselben denken kann.

Mit ganz besonderem Interesse verfolgte man in Deutschland die Arbeiten Wagner's in Frankfurt a. M. über diesen Gegenstand, welche jedoch auch nicht zu praktischen Resultaten führten.

Bei allen diesen Apparaten erwuchs ein großer Nachtheil aus dem Umstande, daß der Polwechsel der Elektromagnete nicht momentan stattfindet. Selbst das weichste Eisen, welches von einer elektrischen Spirale umgeben zum Elektromagneten wird, ist nicht im Stande, seine Pole so schnell zu wechseln, als man den elektrischen Strom in der Spirale umkehren kann; je größer die Eisenmasse ist, desto träger ist sie in dieser Beziehung, und daher kommt es auch, daß größere Apparate verhältnißmäßig schlechtere Resultate geben als kleinere Modelle.

Diesen Nachtheil, welcher aus der Trägheit des Eisens gegen die Umkehrung des Magnetismus herrührt, hat Stöhrer zu umgehen gewußt, indem er die Rotation eines Elektromagneten, dessen Pole nicht gewechselt werden, durch den Polwechsel einer elektrischen Spirale bewirkt, innerhalb welcher der Elektromagnet sich dreht.

Fig. 257 stellt den Stöhrer'schen Apparat dar. *a* und *b* sind zwei längliche Rahmen, welche von übersponnenem Kupferdraht gebildet sind, der ungefähr 1 Linie im Durchmesser hat. Die Drahtwindungen, welche den oberen Rahmen bilden, sind durch den gebogenen Draht *c* mit dem des unteren verbunden; die Windungen beider Rahmen sind der Art, daß ein elektrischer Strom beide in gleicher Richtung durchläuft. Der ganze aus horizontalen Drahtwindungen gebildete Rahmen ist mit seidenem Band umwickelt.

Zwischen dem oberen und dem unteren Drahtrahmen ist ein solcher Zwischenraum, daß die Umdrehungsaxe des Elektromagneten *d* sich frei bewegen kann.

Der Eisenkern des Elektromagneten ist an jedem Ende mit einer Eisenplatte versehen, welche einestheils die Drahtwindungen des Elektromagneten hält, anderentheils aber auch sehr zur Verstärkung der Wirkung beiträgt.

Wenn gleichzeitig ein Strom durch die Windungen der Rahmen *a* und *b* und durch die Windungen des Elektromagneten *d* hindurchgeht, so wird sich der Elektromagnet rechtwinklig stellen zur Ebene der Rahmen; und zwar wird, je nach der Richtung des Stromes in den Rahmen, ein bestimmter Pol des Elektromagneten sich nach oben kehren. Bliebe der Strom in den Rahmen ungeändert, so würde der Elektromagnet in dieser Gleichgewichtslage nach einigen Oscillationen zur Ruhe kommen; wird aber der Strom in den Rahmen in demselben Moment umgekehrt, in welchem der Magnet seine vertikale Stellung erreicht hat, so wird nun die Rotation fortdauern müssen, denn bei der neuen Stromrichtung in den Rahmen kann der Elektromagnet nicht eher zur Ruhe kommen, als bis der eben oben angekommene Pol gerade nach unten gerichtet ist; es wird also eine beständige Rotation des Elektromagneten stattfinden müssen, wenn nach jeder halben Umdrehung desselben der Strom in den Rahmen umgekehrt wird, während die Polarität des Elektromagneten ungeändert bleibt.

Sehen wir nun, wie der Strom durch den Apparat hindurch geleitet wird.

Die Umdrehungsaxe des Elektromagneten läuft zwischen zwei Stahlspitzen, von denen nur die eine in unserer Figur sichtbar ist. Diese Spitze steckt mit einem Schraubengewinde in einem Messingpfeiler, dessen Fuß fest auf den Boden aufgeschraubt ist, so daß eine innige Berührung zwischen diesem Messingfuße und dem Kupferstreifen 5 stattfindet, auf dessen anderem Ende ein Messingsäulchen sitzt. In dieses Säulchen kann der eine Poldraht einer galvani-

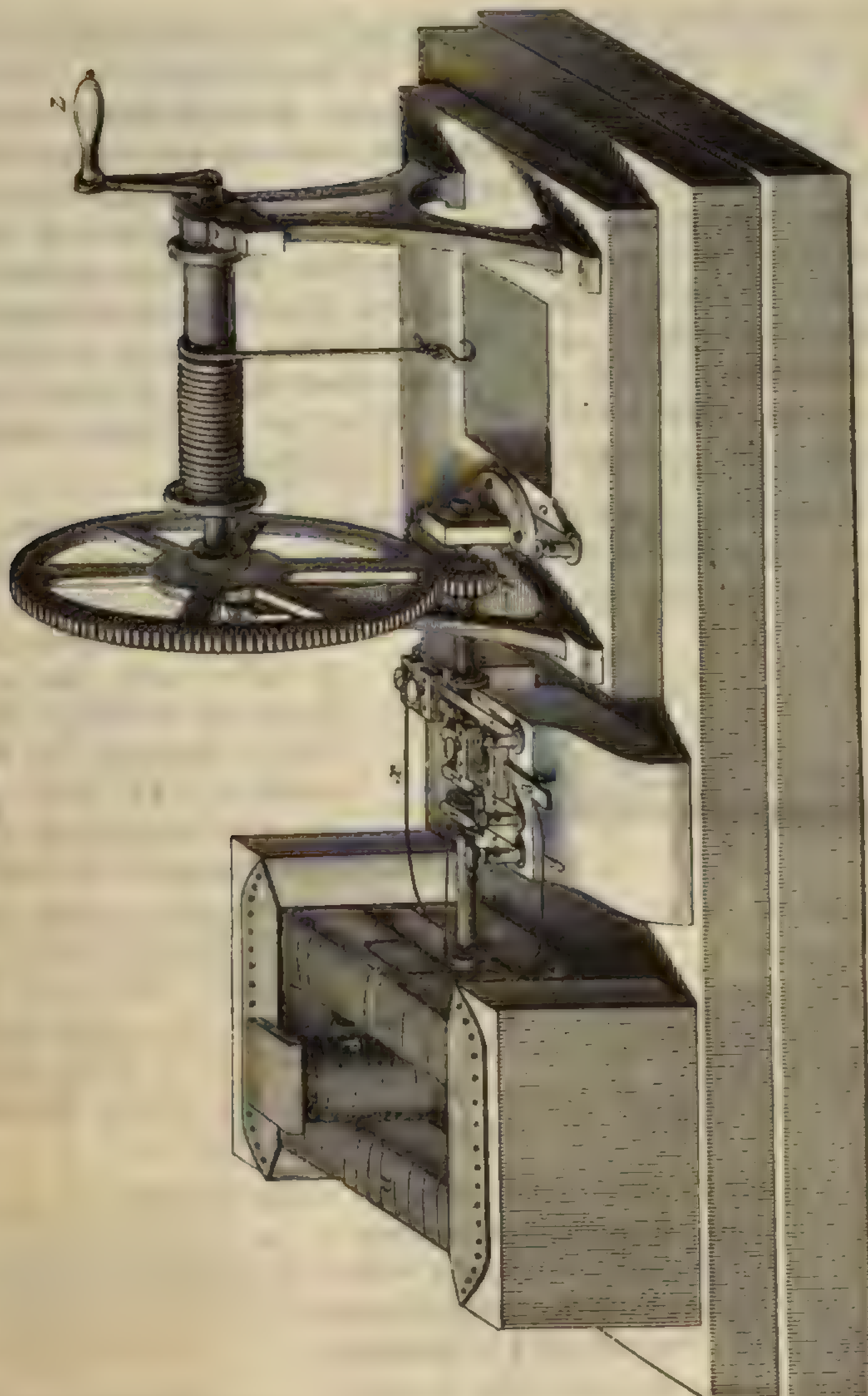


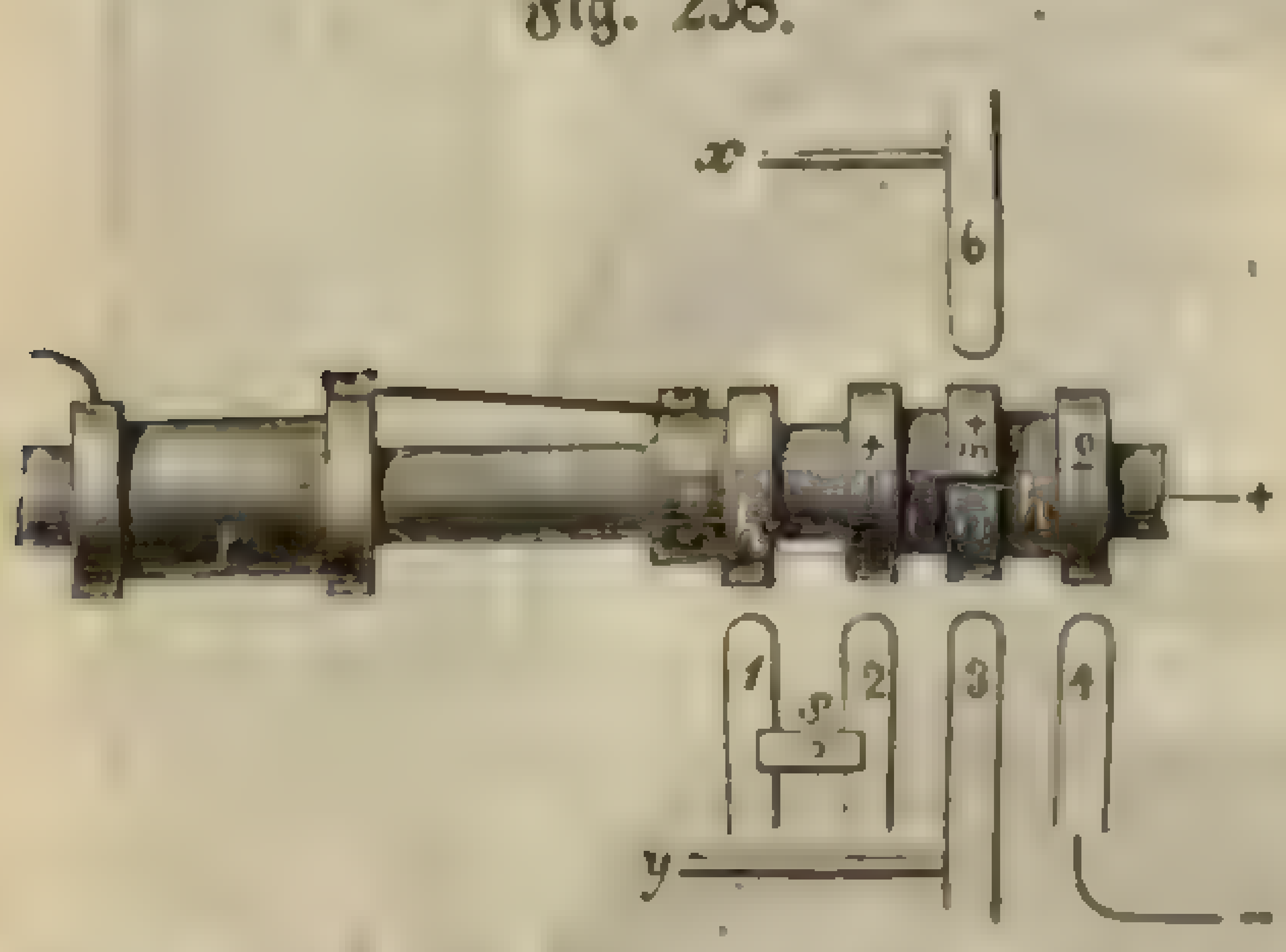
Fig. 257.

schen Kette eingesteckt und mittelst einer Schraube festgeklemmt werden. (Die Schraube ist in der Figur weggelassen worden; dies Säulchen und seine Schraube ist genau so, wie das auf der Feder 1 stehende.)

Der Strom tritt also durch dies Säulchen und den Kupferstreifen 5 in den Apparat ein, geht durch die Spitze in die Umdrehungsaxe über, durch welche er zum Eisenkern des Elektromagneten gelangt. Auf diesen Eisenkern ist nun das eine Drahtende der Spirale aufgeschraubt, welche um den Eisenkern herumgewunden ist; das andere Ende dieser Spirale ist auf die Kupferhülse *f*, welche man Fig. 258 deutlicher sieht, eingelassen. Diese Kupferhülse steckt nicht unmittelbar auf der eisernen Axe, sondern sie ist von ihr durch eine isolirende Hülse getrennt. Der Strom geht also aus dem Eisenkern des Elektromagneten in die Windungen desselben, und nachdem er dieselben durchlaufen hat, gelangt er zur Kupferhülse *f*, von der er dann zum Commutator geführt wird, welcher bewirkt, daß die Stromrichtung in den Windungen der Rahmen geleitet und nach jeder halben Umdrehung in denselben umgekehrt wird.

Die Einrichtung dieses Commutators ist aus Fig. 258 deutlicher zu ersehen. Von der Kupferhülse *f* führt ein Kupferdraht zur Eisenhülse *g*, welche, wie auch die eisernen Hülsen *i* und *k*, durch eine hölzerne Hülse, auf der sie stecken, welche aber nur zwischen *h* und *l* freiliegt, vor metallischer Berührung mit der Axe geschützt ist. Die Hülse *g* trägt den ganz kreisförmigen metallischen Kamm *h*; an dem einen Ende der Hülse *i* befindet sich der ganz kreisförmige Kamm *l*, auf der anderen Seite von *i* ist der Kamm *m* befestigt, welcher jedoch nur einen Halbkreis bildet. Der halbkreisförmige Kamm *n*, welcher gleichsam die Fortsetzung von *m* bildet, ist durch die Hülse *k* mit dem ganz kreisförmigen Kamm *o* in leitender Verbindung, aber durch eine isolirende Substanz von *m* und *i* getrennt.

Fig. 258.



Auf *h* schleift die Feder 1, auf *l* die Feder 2, auf *o* die Feder 4. Die Feder 3 schleift oben, die Feder 6 schleift unten an dem aus den Theilen *m* und *n* bestehenden Kamm und zwar so, daß *n* und 3 in Berührung sind, wenn *m* und 6 sich berühren; wenn aber während der Rotation *m* mit 3 in Berührung kommt, so kommt unten *n* mit 6 in Berührung.

Nehmen wir an, der positive Pol der Kette sey in das Säulchen des Streifens 5, der negative Poldraht in das Säulchen der Feder 4 eingeschraubt, so geht der positive Strom, nachdem er den Elektromagneten umkreist hat, von *f* nach *g* und *h*, von da durch die Feder 1 und den kupfernen Querstreifen *s* auf die Feder 2, dann nach *l*, *i* und *m*; der halbkreisförmige Kamm *m* ist also

gleichsam ein + Pol; von *m* geht der positive Strom auf diejenige Feder über, die er gerade berührt.

Der negative Strom tritt durch die Feder 4 ein und gelangt von da über *o* und *k* nach *n*, so daß also *n* gleichsam der negative Pol der Kette ist.

Wenn *m* mit 6, *n* aber mit 3 in Berührung ist, so tritt also der positive Strom von 6 aus durch den Draht *x* in die Windungen der Rahmen ein, und gelangt, nachdem er diese Windungen durchlaufen hat, durch den Draht *y* und die Feder 3 nach *n*; nach einer halben Umdrehung aber kommt *m* mit 3 in Berührung, jetzt tritt der positive Strom durch die Feder 3 und den Draht *y* in die Windungen der Rahmen ein, durch *x* und 6 aber aus, bei jeder halben Umdrehung der Axe findet also eine Umkehrung der Stromrichtung und der Rahmen Statt, wodurch denn die fortdauernde Rotation des Elektromagneten bewerkstelligt wird.

An der Umdrehungsaxe des Elektromagneten ist das kleine Zahnrad *r* befestigt, welches in ein größeres eingreift. Um die Axe dieses größeren Zahnrades ist eine Schnur geschlungen, an welcher ein passendes Gewicht gehängt werden kann, welches dann durch die Rotation des Elektromagneten gehoben wird.

Sollte der Apparat nur zu dem oben angegebenen Zwecke dienen, so könnte er etwas einfacher seyn; *g* und *h* und die Federn 1 und 2 könnten ganz wegbleiben, *f* und *i* direct durch einen Kupferdraht verbunden seyn; bei der Einrichtung, welche der Apparat jetzt hat, läßt er sich aber auch noch zu anderen Versuchen anwenden, welche erst später besprochen werden können.

Bei Anwendung einer Zinkkohlenkette, welche 20 Quadratzoll wirkender Kohlenfläche hatte, wurden folgende Resultate erhalten:

1	Element	hob	$1\frac{3}{4}$	Pfund	in	4	Secunden	1 Fuß	hoch.
2	»	»	3	»	»	3	»	» »	»
3	»	»	5	»	»	$2\frac{1}{2}$	»	» »	»
4	»	»	6	»	»	2	»	» »	»
5	»	»	$5\frac{3}{4}$	»	»	$1\frac{1}{2}$	»	» »	»

Obgleich die Stöhrer'schen Apparate günstigere Resultate geben, als alle früher zu diesem Zwecke construirten, so ergab sich doch, daß die Unterhaltungskosten zu groß sind, um eine technische Anwendung möglich zu machen.

Man hat elektromagnetische Motoren von sehr verschiedenen Formen construirt, alle aber lassen sich in zwei Hauptabtheilungen bringen: in die erste Klasse gehören solche Apparate, bei welchen, wie bei den bisher betrachteten direct eine Rotationsbewegung erzeugt wird; in die zweite solche, bei denen ursprünglich eine oscillatorische Bewegung hervorgebracht wird, die erst in eine continuirlich

drehende verwandelt werden muß. In diese zweite Classe gehört unter andern der Apparat des Amerikaners Page, welcher gegenwärtig besonders die Aufmerksamkeit auf sich zieht, der aber wohl so wenig wie die früheren elektromagnetischen Motoren die sanguinischen Hoffnungen erfüllen wird, die man von ihm hegt.

Fig. 259.

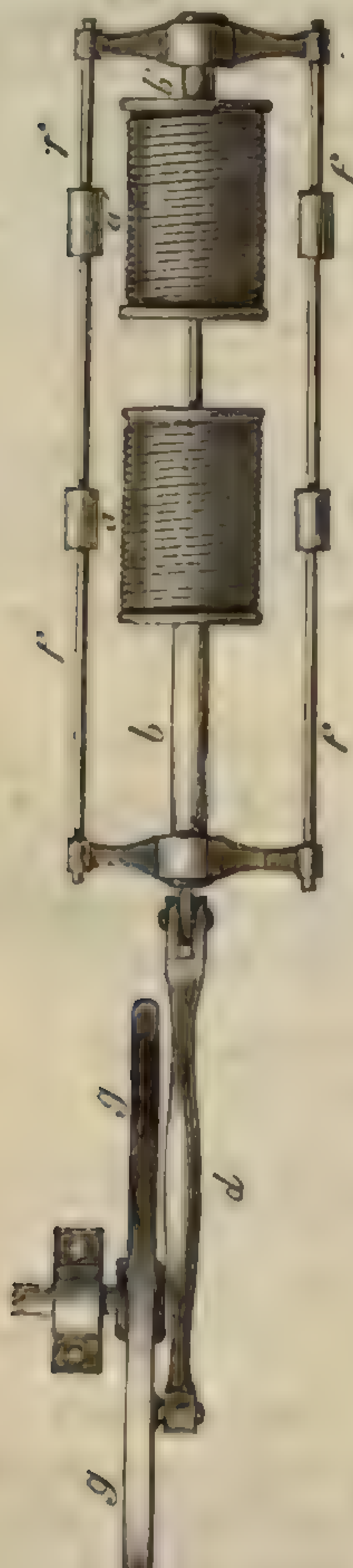


Fig. 259 kann das Wesentliche des Page'schen Apparates anschaulich machen.

Auf einem Brett sind in horizontaler Lage zwei Magnetisirungsspiralen a und a' so befestigt, daß ihre Axen genau in dieselbe gerade Linie fallen. Die beiden Eisenstäbe b und b', durch ein Messingstäbchen mit einander verbunden, sind an dem beweglichen Rahmen ff' befestigt, welcher ihnen zur Führung dient. Geht ein Strom durch a', so wird b' nach der Linken gezogen; sobald der Stab b' ganz in a' hineingeschoben ist, wird der Strom in a' unterbrochen, während er durch a zu laufen beginnt. b wird jetzt in die Spirale a hineingezogen, während a' nicht mehr auf b' wirkt; ist die Bewegung nach der rechten Seite hin vollendet, so tritt abermals ein Stromwechsel ein, und so wird eine hin- und hergehende Bewegung erzeugt, welche durch die Triebstange d dem Schwungrad g eine rotirende Bewegung mittheilt.

Die Vorrichtung zum Stromwechsel ist an der Schwungradswelle angebracht. Diese sowie die Drahtleitungen sind in der Zeichnung weggelassen, da es nur darauf ankam, eine Idee von dem Apparate zu geben.

Als eine Varietät des Page'schen Apparates kann man den in Figur 260 dargestellten betrachten, welcher in seinem Aeußeren die Dampfmaschine gleichfalls nachahmt, wie der vorige. Die beiden Spiralen stehen vertikal. Dadurch, daß abwechselnd der Eisenkern C und dann wieder der Eisenkern D in seine Spirale hineingezogen wird, wird der Balancier GE in Bewegung gesetzt, dessen auf- und niedergehende Bewegung durch Pleuelstange und Kurbel in eine rotirende Bewegung verwandelt wird. An der Umdrehungsaxe befindet sich ein Schwungrad und eine excentrische Scheibe, deren Gestäng mit einem

Schieber endigt, durch dessen Hin- und Hergehen abwechselnd die Spirale A und

Fig. 260.



dann wieder die Spirale B in den Schließungsbogen der Batterie gebracht wird.

Theorie der elektromagnetischen Motoren. Die Grundzüge der 99
Theorie elektromagnetischer Motoren hat Jacobi entwickelt (Krönig's Journal Bd. III. Seite 377). Folgendes ist das Wesentlichste derselben:

Es sey

n die Anzahl der Plattenpaare, welche zur Säule verbunden den Strom liefern, welcher die Maschine treiben soll;

e die elektromotorische Kraft eines Plattenpaares;

ϱ der Gesammtwiderstand: so ist nach dem Ohm'schen Gesetze die Stromstärke

$$i = \frac{ne}{\varrho} \; \ldots\ldots (1).$$

Wenn nun ein Strom von dieser Stärke in β Windungen einen Eisenkern umkreist, so ist der Magnetismus desselben

$$m = \beta i = \frac{\beta n e}{\varrho} \ldots\ldots (2);$$

denn bei so dicken Eisenkernen, wie sie bei diesen Maschinen in Anwendung

kommen, kann man ohne Anstand den Magnetismus der Stromstärke proportional setzen.

Die Kraft, mit welcher zwei solche elektromagnetische Pole sich anziehen oder abstoßen, ist dem Producte ihrer Magnetismen proportional, also

$$R = m^2 = \frac{\beta^2 n^2 e^2}{\varrho^2} \quad \ldots\ldots (3).$$

Dieser Gleichung zufolge kann man bei unveränderten Werthen von n, e und ϱ die zwischen den Polen zweier Elektromagnete stattfindende Anziehung oder Abstoßung durch Vergrößerung der Windungszahl β bis ins Unendliche steigern, wenn man nur die Eisenkerne dick genug macht und dafür sorgt, daß bei Verlängerung des Drahtes auch sein Querschnitt in solchem Verhältniß wächst, daß der Gesammtwiderstand ϱ unverändert bleibt. — Dadurch glaubte man sich nun zu der Hoffnung berechtigt, daß man den mechanischen Effect einer galvanischen Batterie bei unveränderter Stromstärke, also bei unveränderter Consumtion durch Vermehrung der Windungszahl beliebig steigern könne.

Was von der Größe der Anziehung oder Abstoßung zweier Magnetpole gilt, welche ruhig einander gegenüberstehen, darf aber durchaus nicht auf den mechanischen Effect übertragen werden, welchen die Maschine hervorzubringen vermag, wenn sie in Bewegung ist, wie dies die folgende Betrachtung darthut.

Der Strom, welchen die Säule liefert, behält nur so lange den bei (1) angegebenen Werth, als man die Maschine nicht in Bewegung kommen läßt, als man sie anhält. Sobald die Rotation beginnt, nimmt die Stromstärke ab, und zwar um so mehr, je schneller die Maschine läuft.

Es läßt sich dies leicht nachweisen, wenn man eine Tangentenbussole in den Schließungsbogen einschaltet. Hält man die Maschine an, so beobachtet man die der Gleichung (1) entsprechende Ablenkung. Hängt man der Maschine eine verhältnißmäßig große Last an, so rotirt sie nur ganz langsam und die Nadel geht nur wenig von der Stellung zurück, welche sie einnahm, als die Maschine angehalten wurde. Vermindert man die angehängte Last mehr und mehr, so läuft die Maschine immer schneller und dabei geht die Nadel der Tangentenbussole mehr und mehr zurück.

Diese Schwächung der Stromstärke rührt daher, daß ein Magnet oder ein Elektromagnet, welcher sich in der Nähe einer geschlossenen Drahtspirale bewegt, in derselben einen Strom hervorzurufen (zu induciren) strebt, welcher demjenigen entgegengesetzt ist, welcher, die Spirale durchströmend, eine Bewegung in gleichem Sinne bewirkt. — Die Gesetze dieser inducirten Ströme werden wir im folgenden Kapitel näher betrachten, hier genügt es uns, vor der Hand zu wissen, daß die in Folge der Induction eintretende Stromschwächung proportional ist:

1) der Geschwindigkeit v, mit welcher sich der Elektromagnet bewegt;
2) der Stärke m' der Elektromagnete;
3) der Windungszahl β.

Bezeichnet nun m' die Stärke des Magnetismus der Elektromagnete, und i' die Stromstärke, während die Maschine im Gang ist, so ist

$$m' = \beta i' \ldots . (4)$$

und die durch die Bewegung eingetretene Stromschwächung

$$i - i' = \beta . m' v \gamma,$$

wo γ irgend einen constanten Coëfficienten bezeichnet. Daraus aber ergiebt sich

$$v = \frac{i - i'}{\beta m' \gamma}$$

oder, wenn wir für i' seinen Werth bei (1) setzen:

$$v = \frac{\frac{n e}{\varrho} - i'}{\beta^2 i' \gamma} \ldots . (5).$$

Die Kraft, mit welcher die Elektromagnete sich anziehen oder abstoßen, ist aber

$$R' = m'^2 = \beta^2 i'^2 \ldots . (6).$$

Die Bedeutung des Werthes R' bedarf nun zunächst noch einiger Erläuterung.

Die Kraft, mit welcher die Magnetpole auf einander wirken, ist keineswegs eine beständige Größe, sie ist nämlich von der Entfernung der Pole abhängig und variirt also während jeder Umdrehung innerhalb gewisser, von der Eigenthümlichkeit der Maschine abhängiger Gränzen. Dies hindert jedoch nicht, daß die Maschine in einen nahezu gleichförmigen Lauf kommt, und während desselben wird ein bestimmter gleichförmiger Bewegungswiderstand überwunden, welcher theils von der angehängten Last, theils von dem Reibungswiderstand in der Maschine und dem Luftwiderstand herrührt. Dieser gleichförmige Bewegungswiderstand nun, welchen die Maschine überwindet, ist gleich der mittleren Kraft, mit welcher die Magnetpole auf einander wirken. In den Momenten, in welchen die Pole mit größerer Kraft auf einander wirken, tritt eine Beschleunigung ein, während in den Zeittheilen, in welchen die Pole mit geringerer Kraft auf einander wirken, eine Verzögerung erfolgt.

Diese mittlere Kraft nun, welche der Summe aller Widerstandskräfte gleich ist, die von der Maschine überwunden werden, soll mit R' bezeichnet werden.

Aus der Vergleichung der Formeln (5) und (6) ergiebt sich zunächst das wichtige Resultat, daß bei unveränderter Stromstärke, also bei unverändertem Werth von i' durch Vermehrung der Windungszahl β für den mechanischen Effect der Maschine nichts gewonnen werden kann.

Der mechanische Effect der Maschine ist nämlich dem Product $R' v$ proportional; aus diesem Product aber verschwindet β vollständig, denn in demselben Maaße, wie R' durch Vergrößerung von β zunimmt, nimmt auch

v ab, denn im Werthe von R steht β^2 im Zähler, im Werthe von v steht es im Nenner. Für den mechanischen Effect erhalten wir den Werth:

$$T = R' v = \frac{i'\left(\frac{ne}{\varrho} - i'\right)}{\gamma} \ldots . (7).$$

T wird gleich Null, wenn $i' = \frac{ne}{\varrho}$, d. h. wenn der Strom den Werth von i in Gleichung (1) erreicht; für diesen Fall wird der Werth von R' gleich dem von R in Gleichung (3), während $v = 0$ wird. Ferner wird $T = 0$, wenn $i' = 0$ ist, wo dann $R = 0$ und $v = \infty$ wird. Zwischen diesen Gränzwerthen von i', nämlich $i' = 0$ und $i' = \frac{ne}{\varrho}$, muß es nun offenbar einen Werth von i' geben, für welchen T ein Maximum wird. Ein bekannter Satz der Mathematik lehrt, daß das Product $x(a - x)$ ein Maximum wird, wenn $x = \frac{1}{2}a$. Wenden wir dies auf unsern Fall an, so ist klar, daß T ein Maximum seyn wird, wenn

$$i' = \frac{ne}{2\varrho} \ldots . (8),$$

daß man also ein Maximum des mechanischen Effects erhält, wenn man die Belastung der Maschine so regelt, daß die Stärke des Stromes, welcher den rotirenden Apparat durchläuft, gerade halb so groß ist, als die Stromstärke seyn würde, wenn man die Maschine anhielte.

Für dieses Maximum des mechanischen Effects erhält man

$$T_0 = \frac{n^2 e^2}{4\varrho^2 \gamma} \ldots . (9),$$

wobei sich für die entsprechenden Werthe des Druckes und der Geschwindigkeit ergiebt

$$R_0 = \frac{\beta^2 n^2 e^2}{4\varrho^2}$$

und

$$v_0 = \frac{1}{\beta^2 \gamma}.$$

Es ist zu beachten, daß die Formel (9) nicht den reinen Nutzeffect ausdrückt, da T_0 die Gesammtarbeit der Maschine bezeichnet, welche aus der Summe des reinen Nutzeffects und der beim Lauf der Maschine zu überwindenden Bewegungs-Hindernisse, der Reibung u. s. w. besteht.

Die obigen Betrachtungen gelten allgemein für alle elektromagnetischen Motoren, welches auch übrigens ihre Construction seyn mag; von den specifischen Eigenthümlichkeiten derselben hängt nur der Factor γ ab, dessen numerischer Werth bis jetzt für die verschiedenen Formen der elektromagnetischen Maschinen

noch zu ermitteln ist, woraus sich denn auch ergeben wird, welche derselben die vortheilhafteste ist. Soviel ist nun jedenfalls nachgewiesen, daß einer bestimmten Stromstärke auch ein bestimmtes theoretisches Maximum des mechanischen Effectes zukommt, dem wir uns durch Vervollkommnung der Apparate mehr und mehr nähern können, so wie ja auch durch bessere Dampfmaschinen nur eine vollständigere Benutzung der Dampfkraft erzielt wird, ohne daß man dabei je über gewisse Gränzen hinauskommen kann. Bei sonst gleicher Construction der Maschine aber, kann die Vergrößerung der Dimensionen und die Vermehrung der Drahtwindungen durchaus nicht anders wirken, als eine vermehrte Uebersetzung bei einem Räderwerk.

Zur Prüfung und Erläuterung der Jacobi'schen Theorie habe ich eine Versuchsreihe angestellt, welche die in folgender Tabelle zusammengestellten Resultate gab.

Angehängte Gewichte.	Ueberwundener Widerstand in Pfunden.	Zeit, welche zu 6 Fuß Hebung erforderlich war.	Mechanischer Effect pro Minute in Fußpfund.	Ablenkung der Tangentenbussole.
0	1,3	14 Secund.	5,5	12,5°
Wagschale = 0,9 Pf.	2,2	24 »	5,5	22,5
0,9 + 2	4,2	50 »	5,0	27,5
0,9 + 3	5,2	162 »	1,9	29,75

Die Maschine, welche zu diesen Versuchen angewandt wurde, war eine Stöhrer'sche von der auf Seite 274 besprochenen Construction. Der Strom wurde durch eine Säule von 3 doppelten Zinkkohlenbechern erzeugt und in den Schließungsbogen, in gehöriger Entfernung von dem elektromagnetischen Motor die Tangentenbussole eingeschaltet. Als die Maschine still gehalten wurde, war die Ablenkung 32,5°; als man die Maschine laufen ließ ohne etwas an die Schnur anzuhängen, ging die Nadel der Tangentenbussole auf 12,5° zurück. Als eine hölzerne Wagschale von 0,9 Pfund Gewicht angehängt wurde, rotirte die Maschine langsamer und die Nadel stellte sich bei 22,5° ein.

Als noch Gewichte auf die Wagschale gelegt wurden, wurde die Umdrehung noch langsamer, während die Stromstärke zunahm, wie man aus der Tabelle ersieht.

Durch vorläufige Versuche war ermittelt worden, daß die Widerstände, welche bei der Rotation der unbelasteten Maschine zu überwinden sind, ungefähr einem an der Welle angehängten Gewicht von 1,3 Pfund gleichgesetzt werden müssen. Addiren wir diese 1,3 Pfund zu der jeweils angehängten Last, so erhalten wir annäherungsweise die Summe der überwundenen Widerstände, wie sie in der zweiten Columne obiger Tabelle angeführt sind. Diese Zahlen sind jedoch nur als eine erste, für unsern Zweck aber ausreichende Annäherung zu

betrachten, denn die Reibungswiderstände wachsen ja, wenn schwerere Gewichte angehängt werden; zu den größeren Belastungen müßte also eigentlich mehr als 1,3 Pfund addirt werden.

Im Uebrigen bedarf wohl die Tabelle keine weitere Erläuterung.

Nach Jacobi's Theorie muß man das Maximum des mechanischen (Brutto-) Effectes erhalten, wenn die Belastung so regulirt wird, daß bei rotirendem Apparat die Stromstärke halb so groß ist, als wenn der Apparat arretirt wird. Da *tang*. $32,5^0$ gleich 0,64 ist, so ist also 0,32 die trigonometrische Tangente des Winkels, um welchen die Nadel der Tangentenbussole für den Fall des Maximums an mechanischem Effect abgelenkt werden muß; dieses Maximum haben wir also zu erwarten, wenn die Nadel eine Ablenkung von 17,75 Graden zeigt.

Dies stimmt nun mit obigen Versuchen ganz gut überein; nach diesen haben wir das Maximum des Effectes bei einer Stromstärke zu erwarten, für welche die Ablenkung der Nadel ungefähr in der Mitte zwischen $12,5^0$ und $22,5^0$ liegt, also $175,^0$ beträgt. Aus dieser Versuchsreihe ergiebt sich aber, daß das Maximum des mechanischen Effectes nur unbedeutend größer seyn kann, als 5,5 Fußpfund pr. Minute. Nehmen wir als erste Annäherung 5,6 Fußpfund, oder was dasselbe ist, 0,93 Fußpfund in der Secunde an, so ist also für unsern Fall das Maximum des mechanischen (Brutto-) Effectes nicht ganz $^1/_{500}$ Pferdekraft.

Die Stromstärke, welche diesen Effect hervorbringt, ist $0,32 \cdot 70 = 22,4$; zur Erhaltung dieser Stromstärke ist aber in den 3 Zellen eine Consumtion an Zink und Säure erforderlich, welche einer Entwickelung von $3 \cdot 22,4 = 67,2$ Kubikcentimetern Knallgas in der Minute, oder 4032 Kubikcentimetern, gleich 2,096 Gramm in der Stunde, was einer Zinkconsumtion von 7,6 Gramm Zink in der Stunde entspricht. Bedenkt man nun, daß damit noch nicht $^1/_{500}$ Pferdekraft erzeugt wird, daß außer dem Zink auch noch Schwefelsäure und Salpetersäure consumirt wird; ferner daß der obige Effect nur der Bruttoeffect, daß der wirklich nutzbare Effect noch weit geringer ist, so wird man wohl zugeben müssen, daß die elektromagnetische Triebkraft eine ungemein kostspielige ist. — Wenn der Amerikaner Page neuerdings behauptet, daß für seine Apparate die elektromagnetische Triebkraft weniger kostspielig sey, als die Dampfkraft, so möge es uns einstweilen erlaubt seyn, an der Wahrheit dieser Behauptung zu zweifeln, bis er durch nüchterne Zahlenangaben nachweist, daß er sich nicht getäuscht habe.

100 **Elektrische Telegraphie.** Bereits in der letzten Hälfte des vorigen Jahrhunderts hatte man Versuche gemacht, die Reibungselektricität zum Telegraphiren zu benutzen, nachdem man sich von der großen Fortpflanzungsgeschwindigkeit der Elektricität überzeugt hatte. Alle nach dieser Seite hin gerichteten Bestrebungen scheiterten aber an der Unbeständigkeit der Elektrisirmaschine, ihrer Abhängigkeit von dem Feuchtigkeitszustande der Luft, der Schwierigkeit einer genügenden Isolirung der Leitungsdrähte u. s. w.

Bald nach Entdeckung des Galvanismus und der Volta'schen

Säule versuchte man, den galvanischen Strom zur Telegraphie zu benutzen. Sömmering wollte die galvanische Wasserzersetzung zur Zeichengebung benutzen, und später hat Vorßelmann de Heer die physiologischen Wirkungen des Stromes zu gleichem Zweck in Vorschlag gebracht.

Eine wirklich praktische Richtung nahmen die Versuche zur elektrischen Telegraphie erst nach der Entdeckung des Elektromagnetismus. Die Ablenkung von Multiplicatornadeln durch den galvanischen Strom wurde alsbald zu dem fraglichen Zweck in Vorschlag gebracht und versucht; allein erst Gauß und Weber haben im Jahre 1833 einen derartigen Apparat im Großen ausgeführt. Die Leitungsdrähte waren zwischen dem physikalischen Cabinet und der Sternwarte zu Göttingen über die Häuser der Stadt hin ausgespannt worden. Der Observationsapparat auf der einen Station bestand aus einem Gauß'schen Magnetometer, dessen Stab mit zahlreichen Multiplicatorwindungen umgeben war, welche die Schließung der Zuleitungsdrähte auf dieser Seite bildeten. Indem nun auf der anderen Station ein momentaner Strom in der einen oder anderen Richtung erzeugt wurde, machte der Magnetstab eine durch das Fernrohr zu beobachtende Zuckung nach der rechten oder nach der linken Seite.

Durch Combination dieser zwei Elementarzeichen (Ausschlag rechts und Ausschlag links) wurde das Alphabet gebildet.

Es waren nicht gewöhnliche galvanische Ströme, welche hier in Anwendung gebracht wurden, sondern Inductionsströme, wie wir sie im nächsten Kapitel werden kennen lernen.

Zunächst machte sich nun Steinheil um die Vervollkommnung der elektrischen Telegraphie verdient. Bei den Versuchen, die er im Sommer 1838 auf der Nürnberg-Fürther Eisenbahn anstellte, machte er die folgenreiche Entdeckung, daß das Erdreich selbst sich als Leiter für den Strom benutzen lasse, daß man also nur einen Leitungsdraht nöthig hat, indem die Rückleitung des Stromes durch den Erdboden erfolgt. Auf welche Weise der Erdboden zur Stromleitung benutzt wird, werden wir weiter unten sehen.

Der englische Nadeltelegraph. Cooke und Wheatstone adop- 101
tirten das Gauß-Weber'sche System der Zeichengebung, gaben aber dem Apparat eine für den alltäglichen Gebrauch geeignetere Einrichtung. Ihr noch jetzt in England allgemein gebräuchlicher Nadeltelegraph besteht im Wesentlichen aus einem vertikal stehenden Multiplicator, der sich innerhalb des Gehäuses Fig. 261 (a. f. S.) befindet. Die innere Einrichtung des Apparates ist aus Fig. 262 zu ersehen. *A* ist der Multiplicator, welcher durch einen 400 Fuß langen dünnen übersponnenen Kupferdraht gebildet wird, der auf Rahmen von dünnem Messingblech aufgewunden ist. Die beiden Abtheilungen der Multiplicatorwindungen sind in unserer Zeichnung absichtlich etwas weiter auseinander gerückt, als es in der Wirklichkeit seyn darf, damit die Einrichtung besser übersehen werden kann.

Fig. 261.



Fig. 262.



Eine horizontale, durch die Mitte des Rahmens gehende Axe trägt zwei Magnetnadeln, von denen die eine, innerhalb des Rahmens liegend, theilweise in Fig. 261 sichtbar ist, während die andere, auf der Vorderseite des Kastens liegend, also in Fig. 262 sichtbar, als Zeiger dient. Beide Nadeln sind parallel, die eine hat den Nord-, die andere den Südpol nach unten gekehrt, so daß die richtende Kraft des Erdmagnetismus keine Wirkung auf das Nadelpaar ausüben kann, während der galvanische Strom, welcher die Windungen des Multiplicators durchläuft, auf beide Nadeln in gleichem Sinne wirkt.

An jeder der beiden Stationen, welche mit einander verkehren sollen, ist nun ein solcher Apparat aufgestellt. Die Klemmschraube *L* der einen Station ist mit der entsprechenden Klemmschraube des Apparates auf der anderen Station durch den Leitungsdraht verbunden, während die Klemmschrauben *E* beider Stationen durch einen zweiten Leitungsdraht oder durch die Erdleitung verbunden sind. In diesem letzten Falle führt von *E* ein Draht zu einer mehrere Quadratfuß großen, in den feuchten Boden eingegrabenen Kupferplatte, welche den Uebergang des Stromes in den Erdboden vermittelt.

An den beiden mit + und — bezeichneten Klemmschrauben sind die Poldrähte der stromgebenden Batterie eingeschraubt, wie auch aus Fig. 263 zu ersehen ist, welche die Combination der Apparate zweier Stationen schematisch darstellt.

Fig. 263.



Im unteren Theil des Kastens befindet sich der sogenannte **Schlüssel**, eine Vorrichtung, welche dazu dient, nach Belieben den Strom bald nach der

einen, bald nach der anderen Richtung durch die Apparate gehen zu lassen. Er besteht aus einer vertikalen Holzscheibe, welche mittelst eines an der Vorderseite des Apparates befestigten Holzgriffes um eine horizontale Axe gedreht werden kann. An dem Umfange dieser Holzscheibe sind verschiedene Messingstücke eingelegt, die theilweise unter sich durch Drähte verbunden sind, wie es Fig. 264 zeigt. Natürlich ist jeder dieser Verbindungsdrähte von dem anderen isolirt. Steht der Griff an beiden Stationen vertikal, wie es in unserer Figur für die Station links der Fall ist, so geht gar kein Strom durch den Apparat, weil die Federn, welche mit den Polen der Batterie verbunden sind, auf Holz schleifen. Wird aber auf der zeichengebenden Station der Griff nach der Rechten gedreht, wie es in unserer Figur bei der Station rechts dargestellt

Fig. 264.



ist, so circulirt nun der Strom, wie es die Pfeile andeuten. Zunächst durchläuft er die Windungen der Zeichen gebenden Station, um die Nadel nach der rechten Seite abzulenken, läuft dann durch die Drahtleitung nach der nächsten Station, durchläuft hier die Multiplicatorwindungen so, daß die Nadel ebenfalls nach der Rechten abgelenkt wird, geht dann durch den Schlüssel zur Erdplatte P', um durch den Boden und die Erdplatte P zurückzukehren.

Wird der Schlüssel eben so viel nach der Linken gedreht, so geht der Strom in entgegengesetzter Richtung durch die Apparate, und lenkt an beiden Stationen die Nadel nach der Linken ab. Wird der Griff wieder vertikal gestellt, so hört der Strom auf.

Was die Zeichen betrifft, so bedeuten z. B. die auf einander folgenden Ausschläge

Links-Links	A
Rechts-Links	D
Rechts-Rechts-Links	G
Links-Rechts	R u. s. w.

Der Buchstabentelegraph. Die Buchstabentelegraphen, welche ihre 102
Entstehung wohl hauptsächlich dem Bestreben verdanken, neue Zeichen zu vermeiden, haben im Wesentlichen folgende Einrichtung: Ein weiches, mit Drahtwindungen umwickeltes Eisen wird abwechselnd magnetisch und wieder unmagnetisch gemacht, indem man einen Strom durch die Windungen hindurchsendet und wieder unterbricht. Durch das magnetisch gewordene Eisen wird ein Anker angezogen; er wird durch eine Feder zurückgeführt, wenn der Magnetismus des Eisens aufhört. Die hin- und hergehende Bewegung des Ankers wird mittelst eines Hakens auf ein Zahnrad in der Weise übertragen, daß bei jedem Hin- und Hergang des Ankers das Rad um einen Zahn fortgeschoben wird. An der Axe dieses Rades befindet sich nun ein Zeiger, welcher bei fortgesetztem Oeffnen und Schließen der Kette wie der Zeiger einer Uhr rundläuft. Am Rande der Zeigerscheibe befinden sich Buchstaben; während der Apparat im Gange ist, springt also der Zeiger von Buchstaben zu Buchstaben fort, bis er an einem bestimmten, den man eben signalisiren will, für kurze Zeit angehalten wird.

Die Buchstabentelegraphen haben gleichfalls mancherlei Modificationen erlitten. Das vollkommenste Instrument dieser Art ist aber ohne Zweifel der Buchstabentelegraph von Siemens und Halske.

Dieser Apparat zerfällt in zwei Haupttheile, den Wecker- und den Zeigerapparat. Der Mechanismus jener beiden Theile (Fig. 265 a. f. S.) ist innerhalb einer über der Deckplatte eines viereckigen Kästchens hervortretenden runden Messingkapsel CCC eingeschlossen, die bloß die Axe des Zeigers hindurchläßt. An ihrem Rande stehen rings herum die kreisförmig gestellten telegraphischen Zeichen (Buchstaben und Ziffern), an denen der Zeiger z bei seiner Bewegung der Reihe nach vorbeiläuft.

Die zum Betriebe erforderlichen zwei Elektromagnete befinden sich nebst den, in der Figur punktirt gezeichneten, Verbindungsdrähten unterhalb der Deckplatte in dem eigentlichen Raum des Kastens. Auf der Deckplatte sieht man noch das Galvanometer G', den Schieber S', die Contactfedern R (Ruhe) und T (Telegraphiren), die Drahtklemmen Z (Zinkpol), K (Kupferpol), E (Erddraht) und L (Leitungsdraht).

Der Weckerapparat ist der einfachere Theil des Ganzen und besteht aus den in der Figur rechts vor dem Haken h liegenden Theilen und der Glocke G.

NN sind die beiden Pole eines Elektromagneten; seine Schenkel befinden sich unterhalb des Deckels und stehen senkrecht gegen denselben; seine Pole gehen durch den Deckel hindurch und sind mit Kappen oder Schuhen besetzt,

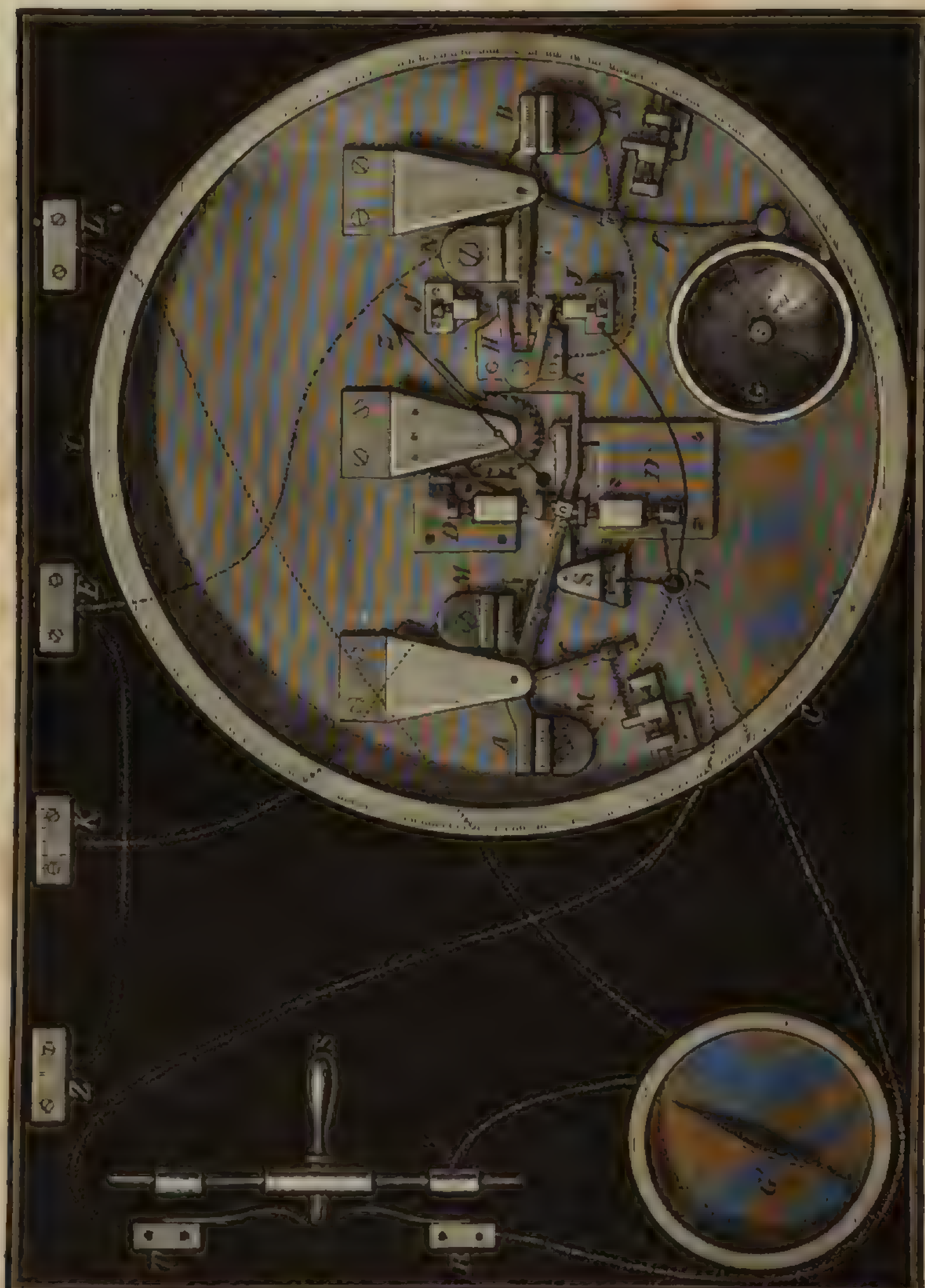


Fig. 265.

die mit seitwärts stehenden eisernen Platten versehen sind, welche den eisernen Platten des um eine vertikale Axe drehbaren Ankers *B B* gegenüberstehen. Die Drehungsaxe dieses Ankers trägt zwei Führungsarme *i* und *f*, welche beide zugleich mit dem Anker hin- und hergehen. Der letztere *f* schlägt bei seiner Bewegung mit seinem klöppelförmig gestalteten Ende gegen die Glocke *G*, der erstere *i* aber liegt zwischen den zwei Schenkeln einer Messinggabel, welche sich um einen auf dem Fuße *H* stehenden Metallzapfen mit einiger Reibung hin- und herbewegen läßt. Zwei metallene Schraubenspitzen *I*, *I'* schränken diese Bewegung ein. Im Ruhezustande, wo, wie die Figur zeigt, die Anker *B* von *NN* nicht angezogen sind, muß die Gabel eine solche Stellung haben, daß der untere oder vordere Schenkel durch den Arm *i* gegen die Schraubenspitze *I* leicht angedrückt wird. Der Arm *i* trägt an seinem Ende beiderseits eine Elfenbeinspitze, damit sein Metallkörper mit der Gabel nicht in Berührung komme.

Die Enden des um den Elektromagneten gewundenen Drahtes gehen unterhalb der Deckplatte einerseits an die Drahtklemme *E*, andererseits nach dem Fußgestelle *H*, während ein anderer, dem Wecker ebenfalls angehöriger Draht von dem Gestelle *I* aus durch die Oeffnung *P* unter die Deckplatte tritt und hier an der Klemme und der Contactfeder *R* festgeschraubt ist.

Man denke sich jetzt den positiven Pol einer Batterie mit *Z*, den negativen mit *R* verbunden. In dem Augenblick, wo die Batterie geschlossen wird, geht dann ein Strom von *Z* über *E* nach dem Elektromagneten *NN* und von dessen Umwindungsdraht nach dem Ständer *H* und dessen Gabel. Da diese gegen die Schraube *I* anliegt, so gelangt der Strom durch die Gabel über *I* nach *R* und dem negativen Pole. Der Anker *B* wird also angezogen und in Folge davon schlägt das Ende des Hebels *f* gegen die Glocke. Gleichzeitig aber wird der Hebel *i* die besprochene Gabel gegen *I'* drücken, also bei *I* den Strom unterbrechen. Eine Spiralfeder zieht nun den Hebel *f* zurück, was eine abermalige Schließung der Kette bewirkt, so daß dasselbe Spiel von Neuem beginnt. Bei der hin- und hergehenden Bewegung des Arms *f* schlägt sein Klöppel fortwährend gegen die Glocke *G*; die Unterbrechung und Wiederherstellung des Stromes erfolgt hierbei durch den Apparat selbst, woher sein Name Wecker mit Selbstunterbrechung.

Der Mechanismus des Zeigerapparates umfaßt die links von dem Haken *h* liegenden Theile: *MM* sind wieder die Pole eines ganz in der oben beschriebenen Weise construirten und aufgestellten Elektromagneten; *AA'* sein plattenförmig gestalteter Anker, dessen Drehungsaxe auch hier einen Arm *oh* trägt, an dessen Ende *h* ein Haken befestigt ist. Dieser greift in die Zähne eines kleinen Stahlrädchens *r* ein, welches nur nach einer einzigen Richtung drehbar ist, indem ein an der linken Seite des Rädchens auf dem Fuße *D* befestigter Sperrhaken die Bewegung nach der entgegengesetzten Richtung verhindert. So oft der Arm *oh* sich nach hinten (in der Richtung von *D'* nach *D*) bewegt, holt sich *h* einen Zahn, und *r* steht still; bei der Bewegung des Arms *oh* nach vorne zieht der Haken *h* den ergriffenen Zahn mit sich fort. Durch eine

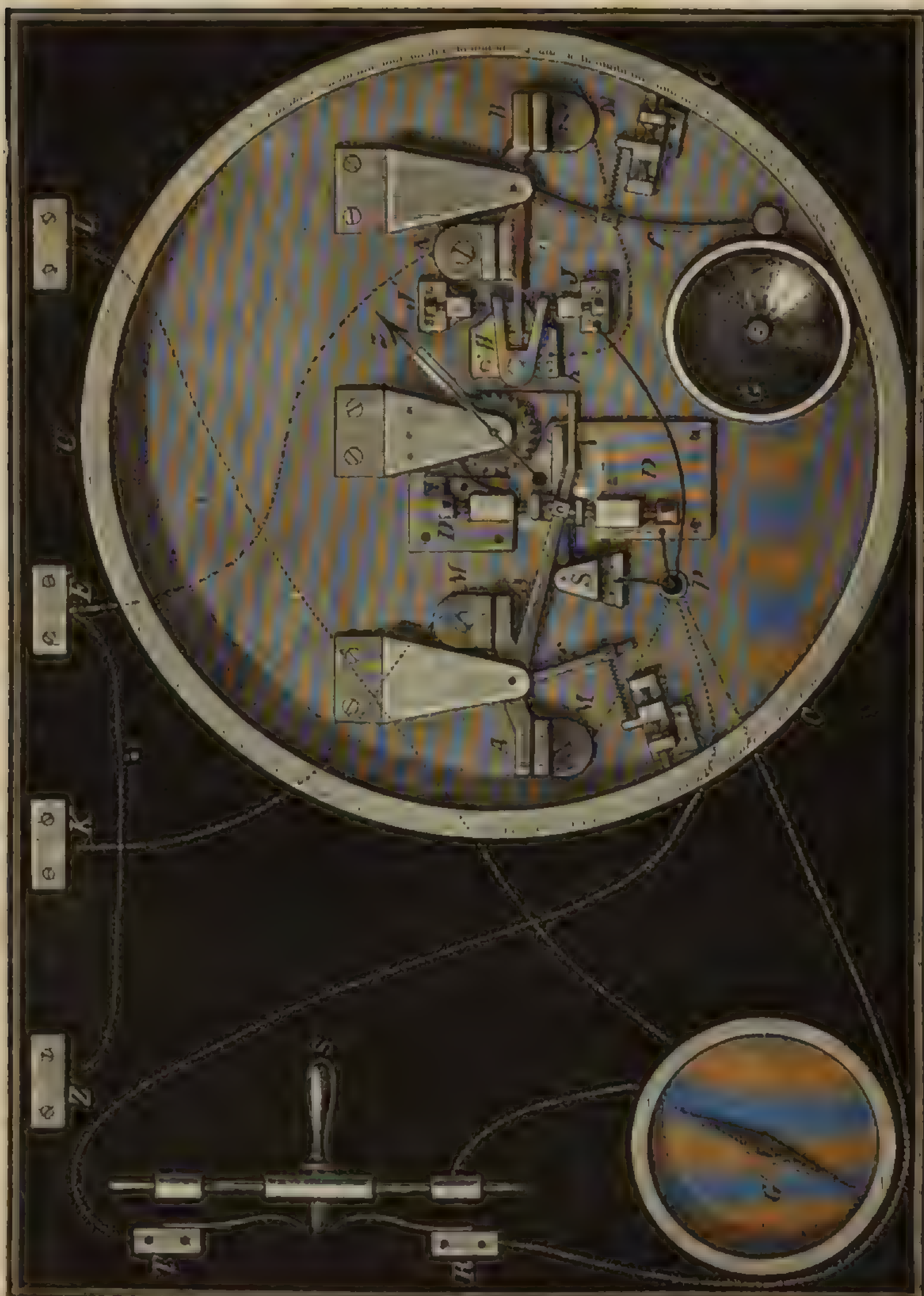


Fig. 265.

anhaltende Bewegung von oh wird daher das Rädchen r nach und nach ganz herumgedreht; der Zeiger z, der außerhalb der Messingkapsel auf der verlängerten Axe dieses Rädchens aufgeschraubt ist, theilt dabei die Bewegung desselben und gelangt so sprungweise von einem Buchstaben zum anderen in derselben Richtung, wie sich die Zeiger einer Uhr bewegen.

Von den zwei Enden des den Elektromagneten bildenden, unterhalb der Deckplatte liegenden Umwindungsdrahtes ist das eine bei K festgeschraubt, das andere tritt durch die Oeffnung P in die Messingkapsel hinein und ist auf dem Messingständer S festgeschraubt; ein dritter Draht geht von dem Messinggestelle D' und durch eben dieselbe Oeffnung P unterhalb der Deckplatte hinweg zu der Drahtklemme T und deren Contactfeder.

Die hin- und hergehende Bewegung des Arms o wird auch hier durch Selbstunterbrechung des Stromes auf analoge Weise hervorgebracht, wie bei dem Wecker. Zu dem Ende trägt die Messingplatte S einen nahe unter dem Arm o hinlaufenden Messingstreifen m, auf welchem ungefähr in der Mitte eine kleine metallene Brücke ss' befestigt ist. Der Streifen m nebst seiner Brücke dreht sich um einen am Ende der Platte S befestigten Metallzapfen. Bei s und s' stehen zwei metallene Hervorragungen auf der Brücke, mit welchen diese, bei ihrer hin- und hergehenden Bewegung, bald gegen die Schraubenspitze D', bald gegen D anschlägt, und dadurch sich nur innerhalb einer kleinen, der Bewegungsgröße des Ankers AA' genau entsprechenden und durch Versuche vor dem Gebrauche des Apparates zu regulirenden Gränze bewegen kann.

Es zeigt sich nun bald, daß eine Circulation des Stromes um MM nur dann stattfinden kann, wenn s' mit D' in Berührung steht, nicht aber wenn s an D anliegt, oder wenn zwischen s' und D' eine Unterbrechung vorhanden ist, wonach also eine hin- und hergehende Bewegung der Brücke ss' zwischen den Schrauben $D' D'$ eine abwechselnde Unterbrechung und Wiederherstellung des Stromes zur Folge haben muß.

Im Ruhestande des Apparates, wo die Batterie offen, also der Anker AA' nicht angezogen ist und durch eine Spiralfeder von MM entfernt gehalten wird, drückt das Querstäbchen n die Brücke s' gegen die Schraube D'. Wird in diesem Zustande ein Strom bei T eingeleitet, so kann er in der Richtung T, D', s', m, S, MM, K u. s. w. um den Elektromagneten MM circuliren; der Anker AA' wird angezogen und dadurch der Haken an h so weit zurückgeschoben, daß er einen neuen Zahn faßt; zugleich aber wird auch die leitende Verbindung zwischen D' und s' aufgehoben, der Elektromagnet zieht den Anker AA' nicht mehr an, derselbe kann also durch eine Spiralfeder wieder in seine vorige Lage zurückgezogen werden. In Folge davon wird h den ergriffenen Zahn mit nach Vorne ziehen; wodurch der Zeiger z auf den nächstfolgenden Buchstaben vorrückt. Ist AA' wieder in seiner ursprünglichen Lage angekommen, so ist auch die Kette wieder geschlossen. So wiederholt sich auch hier die Bewegung der einzelnen Theile, in Folge deren der Zeiger z sprungweise die Zeichenscheibe durchläuft, so lange, als die Batteriepole mit K und

T verbunden bleiben oder irgend ein anderes mechanisches Hinderniß in die Bewegung hemmend eingreift.

Das Letztere geschieht, wenn der Telegraphist während des Telegraphirens den herumeilenden Zeiger *z* vor irgend einem Buchstaben anhalten will. Es befindet sich nämlich auf der Außenseite der Messingkapsel einem jeden Buchstaben gegenüber eine Taste. Jede Taste wirkt auf einen Messingstift, der sich beim Niederdrücken der Taste in das Innere der Kapsel hineinschiebt, beim nachlassenden Druck aber nebst der Taste durch Federkraft wieder in die Höhe geht. Die Axe des Stahlrädchens *r* trägt unmittelbar unter der Fläche des Rädchens einen Arm, der so gestellt ist, daß er dem oberen Zeiger *z* genau parallel ist und daher auch bei der Bewegung des Rädchens dem Zeiger *z* stets parallel bleibt. Dieser Arm läuft, wenn keine Taste niedergedrückt ist, gerade unterhalb der einschiebbaren Stifte hindurch und hemmt daher die Bewegung des Rädchens nicht. Wird aber, während der Apparat in Thätigkeit ist und der Zeiger rundläuft, bei irgend einem Buchstaben, z. B. *C*, die Taste niedergedrückt, und dadurch der entsprechende Stift eingeschoben, so dauert die Bewegung des Rädchens *r* und des Zeigers gerade so lange an, bis der Arm unterhalb *z* diesen Stift erreicht hat und angehalten wird; damit steht dann auf beiden Stationen der Zeiger *z* vor dem Zeichen *C* still, und der Strom bleibt unterbrochen, bis die niedergedrückte Taste wieder frei gelassen wird.

Die Anordnung der Apparate ist auf beiden Stationen durchaus dieselbe, mit alleiniger Ausnahme der Polverbindung der Batterie. Auf der einen Station (z. B. Cöln) steht nämlich die Klemme *E* mit dem Zinkpol *Z*, auf der anderen Station dieselbe Klemme *E'* mit dem Kupferpol *K'* in Verbindung. Bei *E*, *E'* sind die zu den Erdplatten *Pl.*, *Pl'.* führenden Erddrähte, bei *L*, *L'* die Enden des Leitungsdrahtes eingeschraubt; *Z*, *Z'* sind die Klemmen

Fig. 266.



für die Zinkpole; K', K' für die Kupferpole der Batterien. Der Schieber S' (vergl. Fig. 265) läßt sich an einer Messingstange entlang vorbeischieben, so daß seine metallene Spitze bald mit der Contactfeder T (beim Telegraphiren), bald mit R (in der Ruhe) in Verbindung steht. Für die Stellung des Schiebers zwischen den Federn T und R, wie in Fig. 265, ist kein Strom möglich. Die Drahtenden des Galvanometers G' sind einerseits mit dieser messingenen Schieberstange, andererseits mit der Drahtklemme L verbunden. In der Ruhelage stehen die beiden Schieber S', S'' auf beiden Stationen auf R. Bei dieser Stellung sind beide Batterien B, B' offen, denn in Aachen findet vom Pole z' aus über Z', M', T' hinaus keine Weiterleitung Statt, und eben so trifft man in Cöln vom Pole k aus über K, M, T (im Falle S' auf R steht), offene Kette. In diesem Zustande stehen die Zeiger des Zifferblattes auf dem leeren Felde.

Das Telegraphiren geschieht nun auf folgende Weise:

Gesetzt, Cöln will eine Depesche abgeben: Cöln rückt zuerst S' auf T und bringt dadurch die Cölner Batterie B in die Leitung; ihr Strom nimmt die Richtung vom k Pol aus über K, M, T, S', G, L, Leitung $L', G', S'', R', N', E', Pl'.$, Erde, $Pl., E, Z, z$ Pol. Ein näheres Verfolgen zeigt leicht, daß ein anderer Weg des Stromes oder eine Abzweigung desselben nicht möglich ist. Unter dem Einflusse des Stromes befinden sich nun:

a) der Wecker N' der Aachener Station, und

b) der Zeigermagnet M der Cölner Station.

Nun ist aber mit Rücksicht hierauf die Feder (Fig. 265) des Weckermagneten viel schwächer angespannt als die Feder des Zeigermagneten, so daß durch die Stromkraft der einen Batterie B der Weckermagnet seine Feder früher überwinden kann, als der Zeigermagnet die seinige. Indem aber NN seinen Anker B früher anzieht, als MM den seinigen (AA), und sofort durch die Anziehung von B und die Bewegung von i der Strom sich unterbricht, so kann der Zeigermagnet MM überhaupt nicht zum Anziehen seines Ankers kommen. Der Aachener Wecker ertönt daher, ohne daß der Zeiger in Cöln sich bewegt, obgleich sein Elektromagnet dem Strome ausgesetzt ist.

Der Aachener Telegraphist, durch das Ertönen seiner Glocke aufmerksam gemacht, stellt sofort seinen Schieber S'' auf T', und nun befinden sich die Batterien B, B', so wie die Zeigermagnete M, M' beider Stationen in der Leitung. Die Richtung des Stromes ist dabei, wenn man von B ausgeht, folgende:

k Pol K, M, T, S', G, L, Leitung, $L', G', S'', T', M', Z', z' B' k', K', E', Pl'.$, Erde, $Pl., E, Z, z$ Pol.

Demnach befinden sich die Zeigerapparate M, M' beider Stationen unter dem Einflusse eines mit den beiden Batterien B, B' erzeugten Stromes, der nun hinreichend stark ist, die Anker A, A' (Fig. 265), deren Federn gleich stark gespannt sind, zum Anklappen und die Zeiger auf der Zeichenscheibe zum Rundlauf zu bringen.

Sobald eine der beiden Stationen (Cöln) eine Taste niederdrückt, so hält der Zeiger auf dieser Station an dem dadurch eingeschobenen Stifte an, und der

Strom ist zugleich, wie in dem Obigen erklärt wurde, unterbrochen. Da also kein Strom mehr vorhanden ist, muß auch der Zeiger der Aachener Station einen Moment nach dem Stillstande des Cölner Zeigers stille stehen.

103 **Der Drucktelegraph.** Bereits im Jahre 1832 kam der Amerikaner Morse auf den Gedanken, Elektromagnete zur Telegraphie zu benutzen; aber erst nach vielen mühevollen Versuchen kam er zum Ziele und im Jahre 1837 wurde die Einrichtung seines Drucktelegraphen bekannt gemacht. Er zeichnet sich durch große Einfachheit aus und hat vor den bereits beschriebenen Telegraphen den großen Vortheil voraus, daß er nicht bloß vorübergehende Zeichen giebt, sondern ein bleibendes Actenstück liefert. Diese Telegraphen sind in Oesterreich, dem ganzen südlichen Deutschland, der Schweiz und in Nordamerika eingeführt, und es ist kaum zu zweifeln, daß dieses Princip in kurzer Zeit alle übrigen verdrängen wird.

Fig. 267 stellt den Morse'schen Schreibapparat in $1/2$ der natürlichen Größe dar. Auf einer eisernen Platte *a* sind zwei Stäbchen von Eisen befestigt, welche, mit den Magnetisirungsspiralen *b* umgeben, einen Hufeisenmagneten bilden. Ueber den Polen schwebt in einiger Entfernung der Eisenstab *c*, welcher in dem Messinghebel *d* steckt. Sobald die Eisenkerne magnetisch werden, wird das rechte Ende des Hebels *d* niedergezogen; wenn die Eisenkerne ihren Magnetismus verlieren, so wird der Hebel durch eine an einem Seitenarm des Hebels *d* ziehende Feder *f* in seine alte Stellung zurückgezogen. Der Hebelarm *d* schlägt mit seinem Ende auf der rechten Seite schon auf, bevor noch der Anker *c* vollständig in Berührung mit den Polen des Elektromagneten gekommen ist, weil bei vollkommen anliegendem Anker der Elektromagnet nach Unterbrechung des Stromes seinen Magnetismus nicht ganz verliert, wodurch der Gang des Apparates sehr erschwert und unsicher werden würde.

An seinem linken Ende trägt der Hebel *d* einen Stahlstift, welcher bei jedem Niedergang des Stabes *c* gegen einen Papierstreifen gedrückt wird, den ein Uhrwerk mit gleichmäßiger Geschwindigkeit fortzieht.

Das erste Rad *g* dieses Uhrwerkes wird durch ein an der Welle desselben angehängtes Gewicht langsam umgedreht, und diese Bewegung wird durch mehrere Zwischenräder auf die Walze *h* übertragen, welche sich mit größerer Geschwindigkelt umdreht. Die Umdrehung der Walze *h* bewirkt durch Reibung die Umdrehung der gleich großen Walze *i*. Zwischen beiden steckt ein Papierstreifen, welcher von einer, etwa an der Decke des Zimmers befestigten Rolle kommt. Ist das Uhrwerk in Gang, so wird der Papierstreifen mit gleichförmiger Geschwindigkeit, ungefähr 1 Zoll in der Sekunde fortgezogen.

In der Mitte der Rolle *i* befindet sich eine Rinne, von welcher ein Theil noch in der Figur sichtbar ist. In diese Rinne wird nun der Stift hinein gedrückt, wenn *c* niedergezogen wird; es preßt also der Stift eine Vertiefung in den die Rinne überdeckenden Papierstreifen. Wird der galvanische Strom

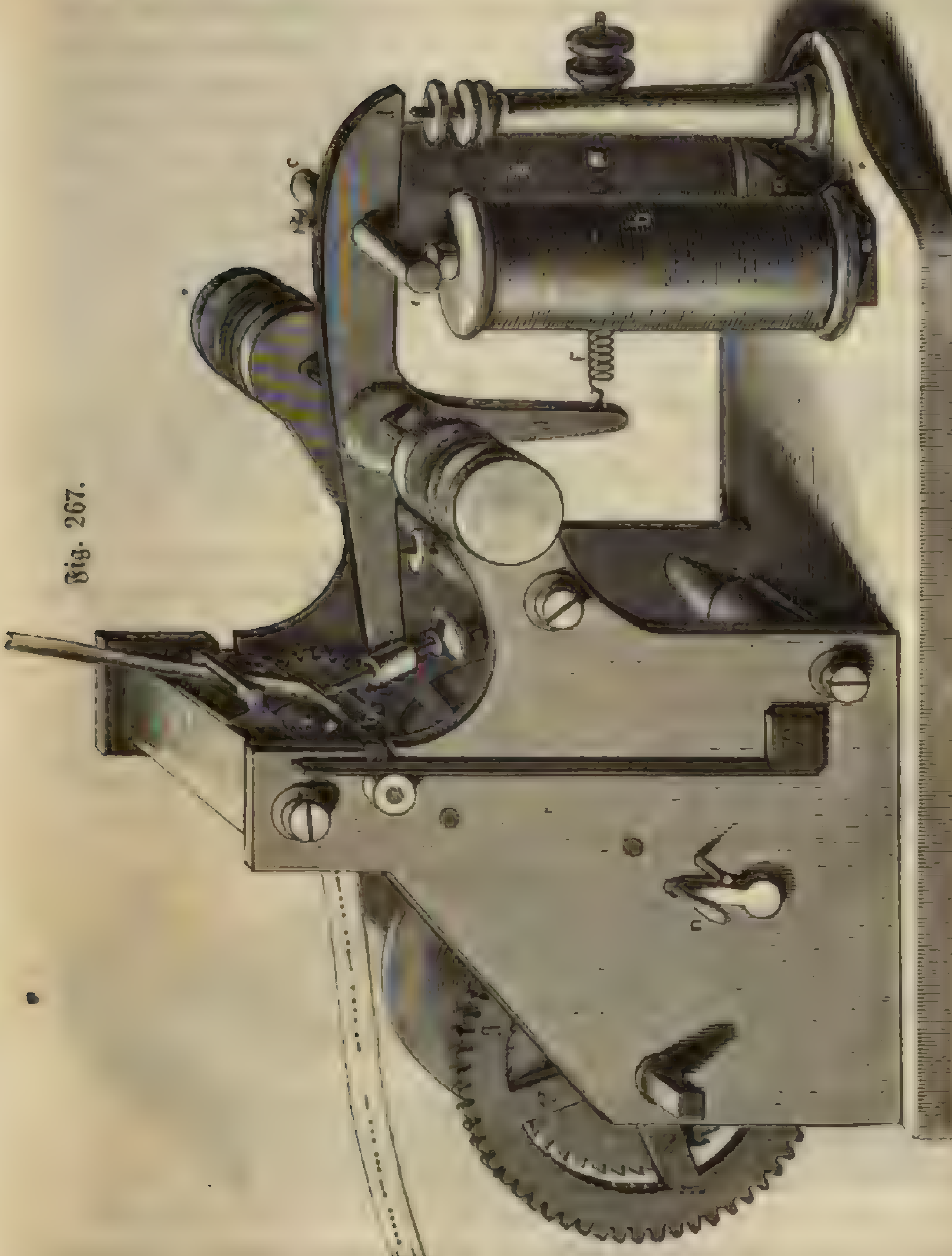


Fig. 267.

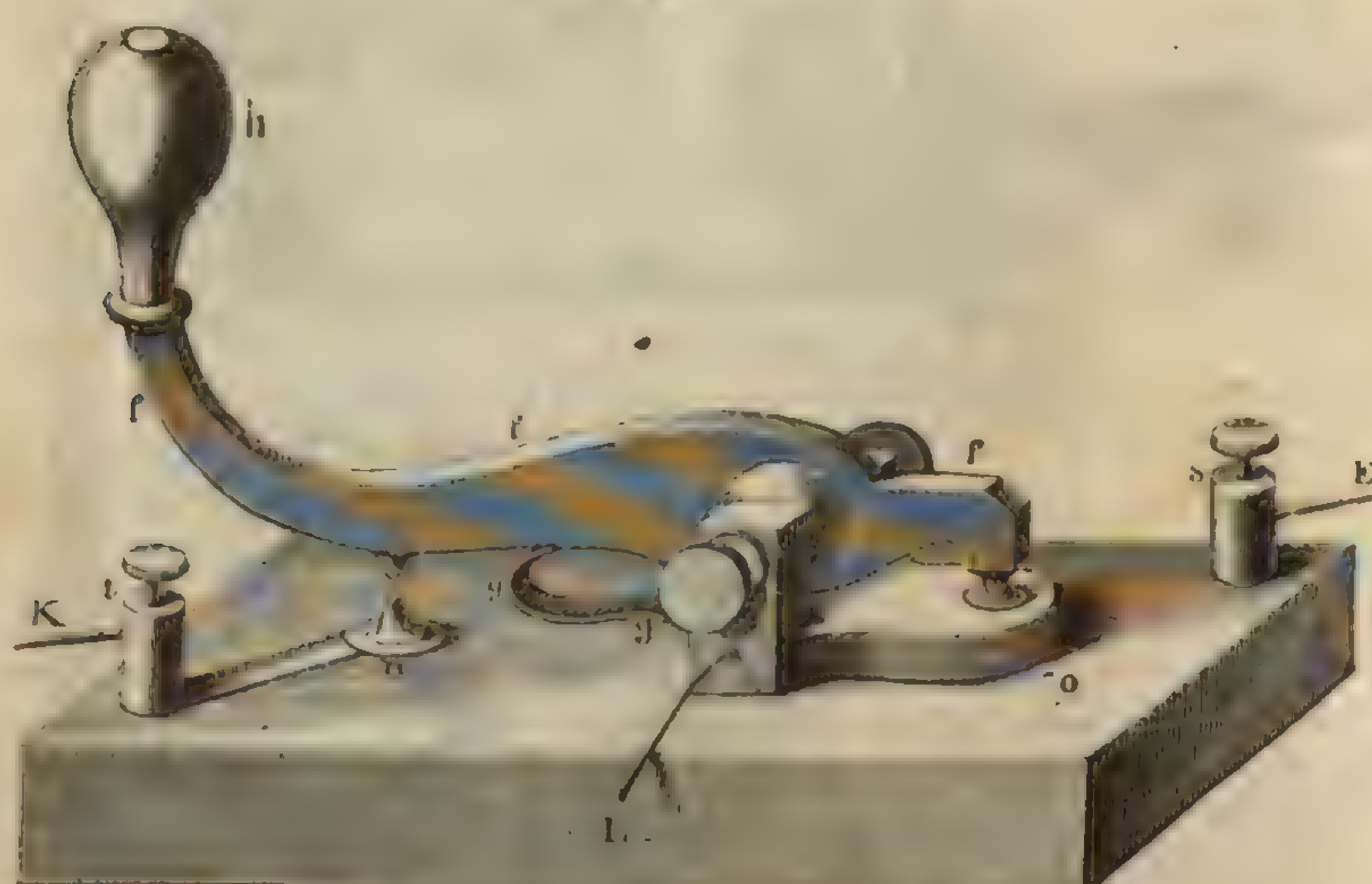
nur für einen Augenblick geschlossen, so drückt der Stift einen Punkt in das Papier, bleibt aber der Strom einige Zeit geschlossen, so entsteht ein Strich, weil ja das Papier unterdessen fortgezogen wird. Aus Punkten und Strichen ist nun das Alphabet zusammengesetzt, und zwar das bei uns übliche folgendermaßen:

a • —	k — • —	t —
b — • • •	l • — • •	u • • —
c — • — •	m — —	v • • • —
d — • •	n — • •	w • — —
e •	o • — • • •	x • • — • • •
f • • — •	p • • • • •	y — — • • •
g — — •	q — — • —	z • — — • •
h • • • •	r • — •	
i • •	s • • •	

Aehnliche Zeichen hat man für Zahlen, Punctum, Fragezeichen u. s. w.

Zum sicheren Schließen und Oeffnen der Kette dient ein Apparat, der auch hier den Namen des **Schlüssels** führt. Der Schlüssel des **Morse'schen** Apparates ist Fig. 268 in 1/2 der natürlichen Größe abgebildet. Auf einem

Fig. 268.



Brettchen ist eine Messingplatte befestigt, welche zu beiden Seiten prismatische Erhöhungen hat, in welchen die horizontale stählerne Axe sich befindet, um welche der messingene Hebel *f* sich drehen kann. Dieser Hebel wird durch eine Stahlfeder *g* nach vorn gedrückt, so daß die vordere Spitze desselben auf einem Messingstückchen aufsitzt, welches von der übrigen Platte isolirt und unterhalb,

wie durch punktirte Linien angedeutet ist, mit dem Messingsäulchen *s* in leitender Verbindung steht. Drückt man den Hebel, am Handgriff *h* anfassend, nieder, so kommt er mit der Spitze des Messingkegels *n* in Berührung, während die vordere Spitze des Hebels nun in die Höhe gehoben ist, also nicht mehr mit dem Säulchen *s* in leitender Verbindung steht.

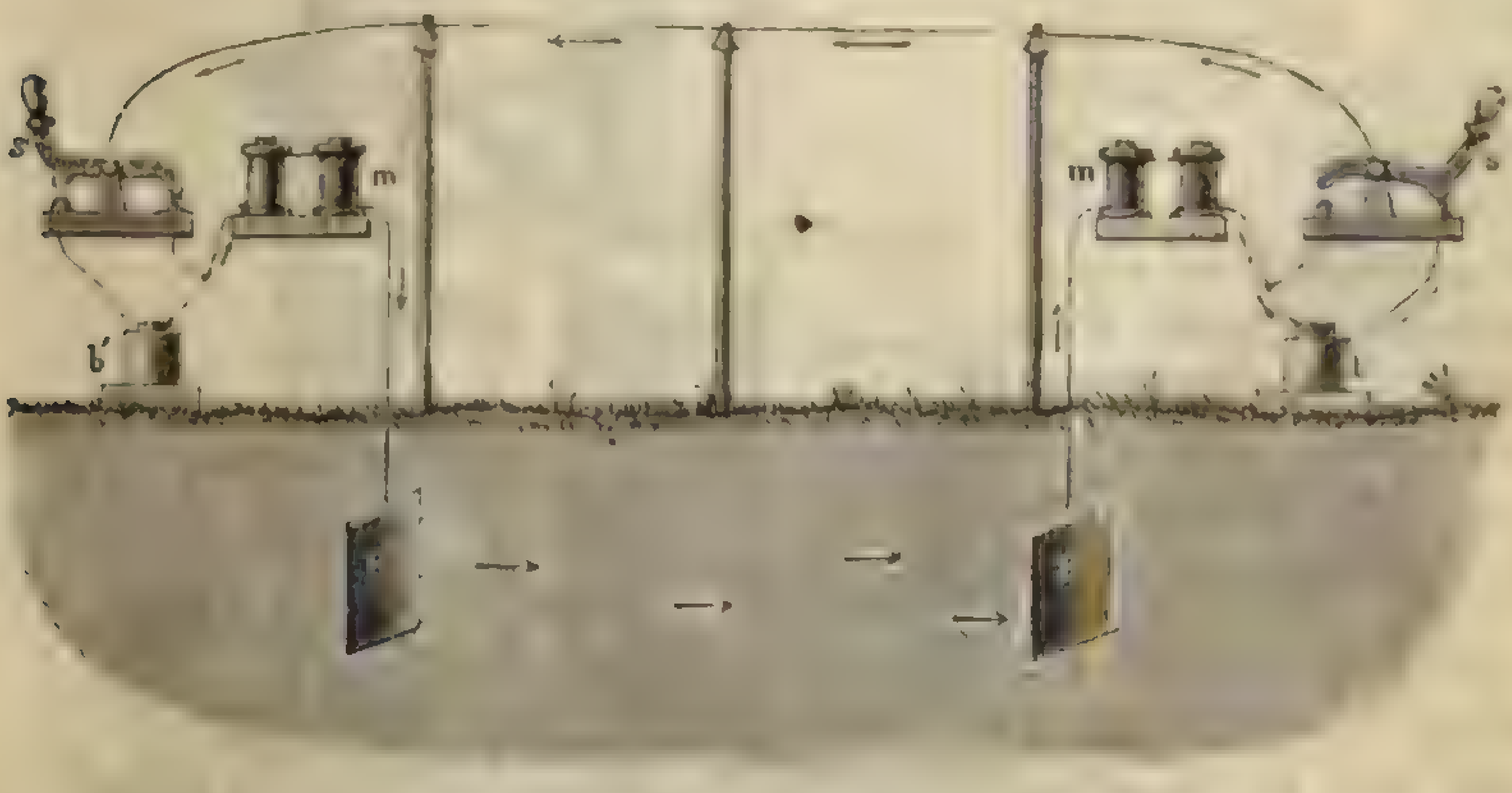
Der kleine Messingkegel *n* ist durch einen Messingstreifen mit dem Säulchen *t* leitend verbunden.

Die Messingplatte, an welcher die Axenträger des Hebels *f* angebracht sind, ist mit dem Leitungsdraht verbunden, welcher zu der nächsten Station führt. In der Regel ist aber der Draht nicht so in der Platte befestigt, wie es die Zeichnung darstellt, sondern es befindet sich ein Messingsäulchen bei *o*, welches durch einen Messingstreifen mit dem Messinggestell verbunden ist. Dieses Säulchen ist nun deshalb in der Zeichnung weggelassen worden, weil es den vorderen Theil der Platte und des Hebels verdeckt hätte. In dieses Säulchen *o* ist dann das Ende des Leitungsdrahtes eingeschraubt.

Von *t* führt ein Draht zu dem einen Pol, etwa dem Kupferpol der galvanischen Batterie. Von *s* geht ein Draht aus, der sich alsbald spaltet, indem der eine Theil zum Zinkpol der Batterie, der andere zu den Windungen des Elektromagneten führt, deren anderes Ende mit der Erdplatte verbunden ist.

Fig. 269 stellt zwei mit einander verbundene Stationen dar. *b* und *b'* sind die Batterien, *s* und *s'* sind die Schlüssel, *m* und *m'* sind die Elektromagnete.

Fig. 269.



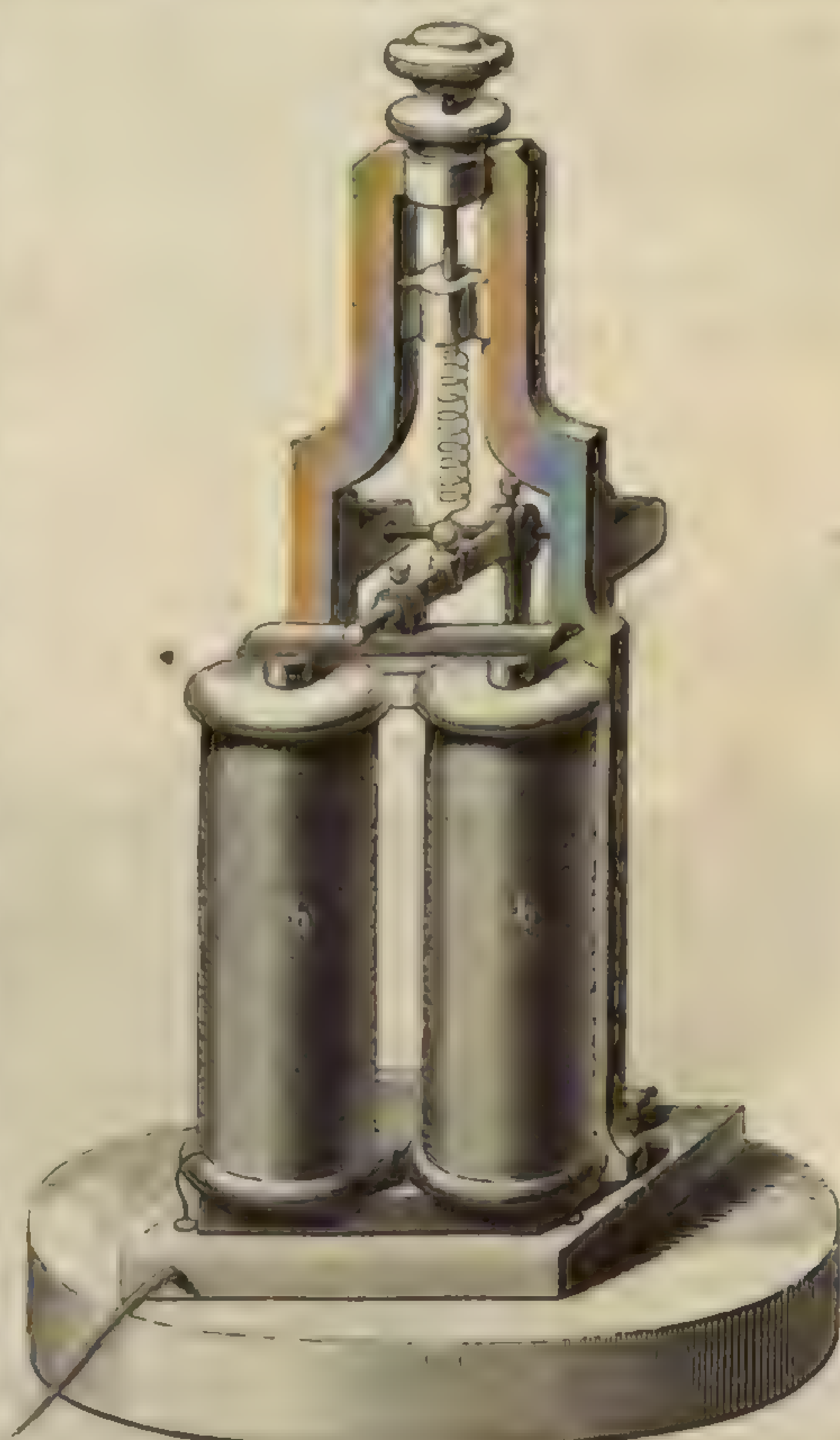
Sind beide Schlüssel in der Ruhelage, wie es in unserer Figur bei dem Schlüssel der Station links der Fall ist, so kann kein Strom entstehen, denn bei dem Messingkegel *n* (siehe Fig. 268) findet sich eine Unterbrechung der Leitung. Wird aber der Schlüssel auf einer Station niedergedrückt, wie es in unserer Figur für die Station rechts der Fall ist, so ist der Schließungsbogen für die Batterie dieser Station hergestellt, der Strom geht vom positiven Pol

der Batterie b durch den Schlüssel s zum Leitungsdraht, welcher den Strom zum Schlüssel s der anderen Station führt; von diesem gelangt der Strom zu den Windungen des Elektromagneten m', zur Erdplatte P', geht dann durch den Erdboden über P und m zum negativen Pol von b zurück, wie denn dieser Lauf des Stromes durch die Pfeile hinlänglich bezeichnet ist.

So umkreist denn der auf der Station b erzeugte Strom die Elektromagnete beider Stationen, die Batterie b' der anderen Station ist nicht geschlossen, kann also keinen Strom aussenden.

Will der Telegraphist der einen Station, etwa der rechten, eine Depesche abgehen lassen, so drückt er mehrmals rasch hinter einander seinen Schlüssel nieder, wodurch ein abwechselndes An- und Abziehen der Anker beider Elektromagnete erfolgt. Das dadurch hervorgebrachte Klappern macht den Telegraphisten der anderen Station aufmerksam, welcher nun, nachdem er auf ähnliche Weise geantwortet hat, sein Uhrwerk mittelst des kleinen Hebels n Fig. 267 auslöst und seinen Streifen laufen läßt. Der Telegraphist der sprechenden Station drückt nun in den gehörigen Intervallen seinen Schlüssel nieder, um dadurch auf dem Papierstreifen der anderen Station die beabsichtigten Zeichen, Punkte und Striche, hervorzubringen. Zum Zeichen, daß die Depesche beendigt ist, macht er eine Reihe von 20 bis 30 gleichmäßig auf einander folgenden Punkte. Nun antwortet der Empfänger »verstanden«, oder er verlangt die Wiederholung etwa undeutlich gebliebener Stellen.

Fig. 270.



Ganz so einfach, wie es eben beschrieben wurde, bleibt aber die Sache in der Praxis doch nicht. Der Strom, welcher erforderlich ist, um einen Morse'schen Schreibapparat in Gang zu setzen, muß ziemlich stark seyn, denn sonst wird

der Anker c nicht mit hinlänglicher Kraft angezogen, der Stahlstift nicht mit hinlänglicher Kraft gegen das Papier gedrückt, um sichtliche Eindrücke in demselben hervorzubringen; um aber einen zu diesem Zweck hinlänglich starken Strom durch eine so lange Drahtleitung zu senden, müßte man eine übermäßig starke Batterie anwenden. Um mit mäßigen Batterien auszureichen, hat man folgende sinnreiche Einrichtung getroffen.

An jeder Station befinden sich zwei Batterien. Die eine, welche den Namen der Hauptbatterie führt, besteht für eine Entfernung von ungefähr 10 Meilen aus 6 Zinkkohlenbechern, bei denen jedoch die Kohle nicht in Salpetersäure, sondern in Wasser mit $^1/_{10}$ Schwefelsäure steht, während die Flüssigkeit in der Thonzelle, welche das Zink aufnimmt, 1 Theil Schwefelsäure auf 20 Theile Wasser enthält. Diese Batterie ist es, welche ihren Strom zur nächsten Station sendet und dort auf einen außerordentlich leicht beweglichen Apparat wirkt, welcher der Uebertrager oder auch das Relais genannt wird.

Ein solcher Uebertrager ist in Fig. 270 von vorn gesehen, perspectivisch dargestellt, während Fig. 271 eine geometrische Seitenansicht zeigt.

Fig. 271.



Der Elektromagnet *b* hat im Wesentlichen dieselbe Einrichtung wie der am Schreibapparat Figur 267, nur sind die Spiralen aus dünnerem Draht gebildet und haben deshalb mehr Windungen. Der unten flache Anker steht dem Eisenkerne ziemlich nahe; er ist an einem rechtwinklig gebogenen eisernen Hebel *h* befestigt, dessen Drehungsaxe durch ein messingenes Gestell getragen wird. Dieser Hebel nun wird durch eine Feder, wie man Fig. 270 sieht, in die Höhe gezogen, und dadurch sein unteres Ende gegen die Spitze des Schraubenkopfes *s* angedrückt. Sobald ein Strom die Spirale durchläuft, wird der Anker niedergezogen und das untere Ende des Hebels *h* gegen die Schraube *t* gedrückt, noch ehe der Anker mit den Eisenkernen in Berührung kommt. Der Spielraum für den Hebel ist außerordentlich klein; da nun ferner der Hebel sehr leicht beweglich ist, und der Anker den Eisenkernen sehr nahe steht, so reicht schon ein sehr schwacher, die Spirale durchlaufender Strom hin, um diese Bewegung hervorzubringen.

Nun befindet sich oben an jeder Station eine zweite Säule, die Localbatterie, aus 3 bis 4 Zinkkohlenbechern der oben beschriebenen Einrichtung bestehend, in deren Schließungsbogen der Schreibapparat eingeschaltet ist; die eben besprochene Bewegung des Hebels *h* dient nur dazu, diese Kette zu schließen und wieder zu öffnen.

Von dem einen Pole, etwa dem positiven der Localbatterie, geht nämlich ein Draht zur Messingplatte *p*, mit welcher der Hebel *h* in leitender Verbindung steht. Der kleine Messingpfeiler *n* aber, welcher durch eine Unterlage von Elfenbein oder Holz vor der leitenden Berührung mit *p* geschützt ist, und in welchem die Schraube *t* steckt, ist durch einen Leitungsdraht mit dem einen Drahtende der Spirale des Schreibapparates verbunden, von deren anderem Ende ein Draht zum negativen Pole der Localbatterie führt. Man sieht, daß die Localbatterie nicht geschlossen ist, so lange kein Strom durch die Spiralen des Uebertragers geht, weil sich eine Unterbrechungsstelle zwischen der mit dem negativen Pol verbundenen Schraube *t* und dem mit dem positiven Pol verbundenen Hebel *h* befindet. Sobald aber die Spiralen des Uebertragers durchströmt werden, findet die Schließung der Kette bei *t* Statt, und nun wird auch der Schreibapparat von dem Strome der Localbatterie durchflossen, der natürlich sehr kräftig ist, weil er außer den Windungen der Spiralen nur eine ganz unbedeutende Drahtlänge zu durchlaufen hat.

Fig. 272.

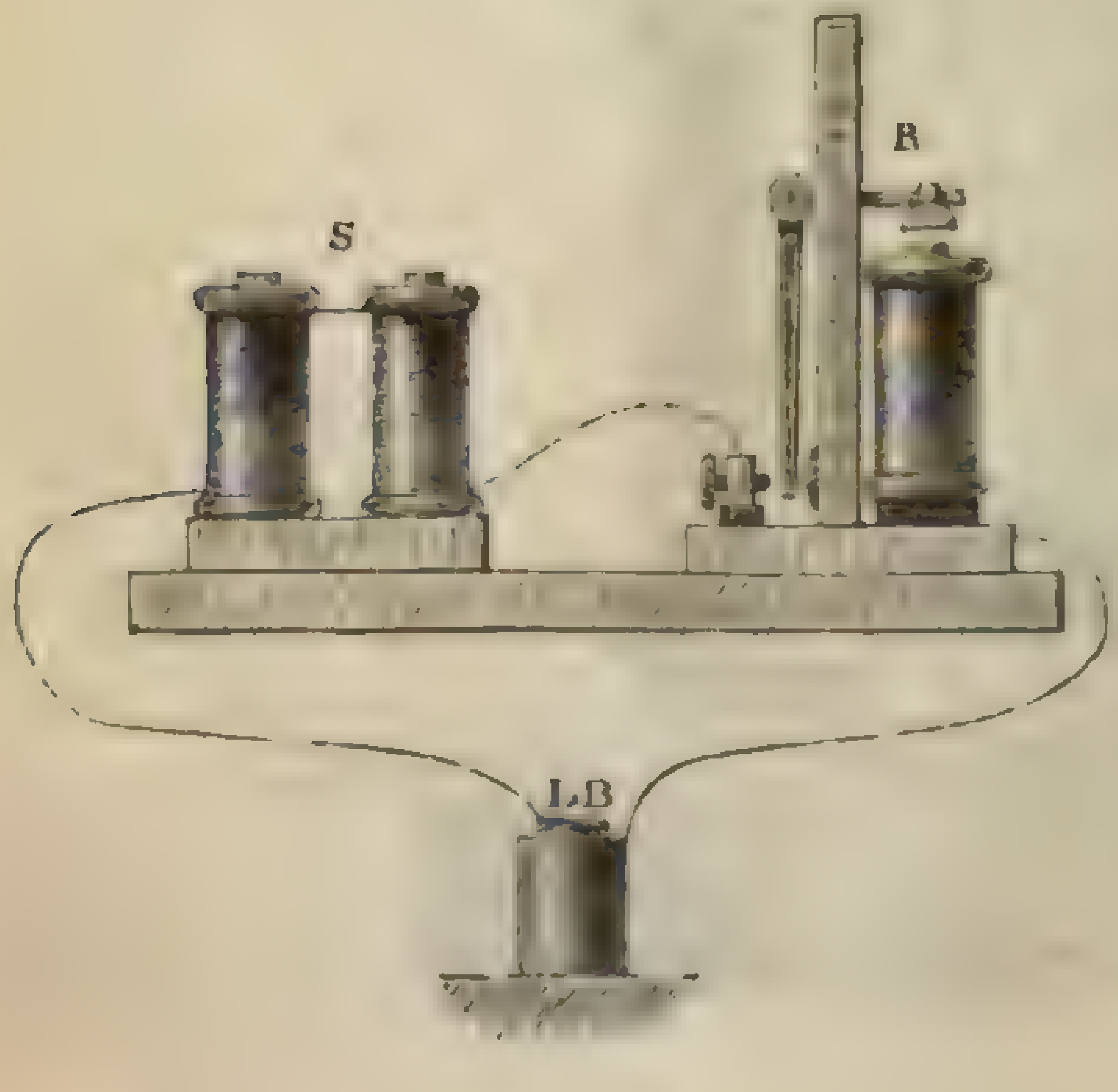


Fig. 272 stellt schematisch die Verbindung des Schreibapparates mit der Localbatterie und dem Uebertrager dar.

Die Bedeutung der Figur 269 wird nun durch Einführung des Uebertragers eine etwas andere; m und m' stellen nämlich nicht, wie anfangs angenommen wurde, die Elektromagnete der Schreibapparate an beiden Stationen, sondern die Elektromagnete der beiden Uebertrager dar.

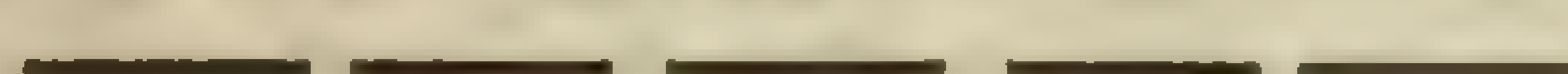
Sobald der Telegraphist einer Station den Schlüssel niederdrückt, wie es in Fig. 269 auf der Station rechts der Fall ist, so sendet er den Strom seiner Hauptbatterie durch die Spiralen der Uebertrager auf beiden Stationen; dadurch aber werden die Localbatterien auf beiden Stationen geschlossen, und auf beiden Stationen der Anker des Schreibapparates angezogen.

Fortpflanzungsgeschwindigkeit der Elektricität. Mit Hülfe der 104
elektrischen Telegraphen Nordamerika's haben Walker und Gould die Geschwindigkeit der Stromverbreitung in den Leitungsdrähten bestimmt.

Die auf den verschiedenen Stationen aufgestellten Telegraphen sind Morse'sche. Die Einrichtung ist so getroffen, daß in der Ruhelage alle Schlüssel geschlossen sind und also ein Strom ununterbrochen in den Leitungsdrähten circulirt.

Nehmen wir nun an, daß am einen Ende einer langen Leitung durch das Pendel einer Uhr bei jeder Schwingung für einen Augenblick der Strom unterbrochen und unmittelbar darauf wieder geschlossen wird, so werden die Aufzeichnungen der einzelnen Stationen das Ansehen von Fig. 273 haben:

Fig. 273.



Während nun an einer Endstation der Telegraphenleitung die Uhr aufgestellt ist, welche in der angegebenen Weise ihre Aufzeichnung auf allen Stationen macht, wird auf der anderen Endstation mittelst des Schlüssels durch Unterbrechung der Leitung von Zeit zu Zeit ein willkürliches Signal gegeben. Durch dieses willkürliche Unterbrechen des Stromes wird nun auf allen Stationen in dem entsprechenden Secundenstrich eine Unterbrechung entstehen, welche wir die Signalpause nennen wollen, während der Zwischenraum zwischen je zwei Secundenstrichen die Uhrpause genannt werden soll.

Bei den Versuchen vom 4. Februar 1850 war die Uhr in Washington aufgestellt, während die willkürlichen Unterbrechungen in St. Louis gemacht wurden.

Um leichter auffinden zu können, welches die entsprechenden Secundenstriche der verschiedenen Stationen sind, war die Einrichtung getroffen, daß zu Anfang jeder Minute eine Uhrpause ausblieb.

Wegen des ungleichen Ganges der verschiedenen Telegraphen fällt nun freilich die Länge der Secundenstriche, der Uhr- und der Signalpausen nicht auf allen Stationen ganz gleich aus, es ist jedoch leicht, sie auf gleiche Länge zu reduciren.

Es fand sich nun, daß die Signalpause auf den verschiedenen Stationen nicht an der gleichen Stelle des entsprechenden Secundenstriches markirt wurde, in St. Louis lag die Signalpause näher am Anfang, in Washington lag sie näher am Ende des Striches, welcher der gleichen Secunde angehört, wie dies Fig. 274 angedeutet ist.

Fig. 274.



Aus der Differenz in der Lage der Signalpausen läßt sich nun auf die Geschwindigkeit der Stromverbreitung schließen.

Es werde in einem bestimmten Moment, etwa in der Mitte einer Secunde, in St. Louis ein willkürliches Signal gegeben, so ist in diesem Augenblick noch nicht die Hälfte des entsprechenden Secundenstriches angekommen, die Signalpause wird also in St. Louis vor der Mitte des Secundenstriches aufgezeichnet. In Washington dagegen wird zwar in der Hälfte der Secunde auch die Mitte des Secundenstriches gemacht, allein die von St. Louis kommende Signalpause wird erst später notirt, und so ergiebt sich denn, daß die Differenz von der Mitte der Signalpause in St. Louis bis zur Mitte der entsprechenden Signalpause in Washington das Doppelte der Zeit ist, welche der elektrische Strom braucht, um sich von der einen Endstation bis zur anderen fortzupflanzen.

Dasselbe gilt für die Differenzen der Signalpausen der Zwischenstationen.

Die Differenz der Signalpausen wurde natürlich nicht aus einer, sondern als Mittel einer ganzen Reihe von Beobachtungen bestimmt.

Die Drahtlängen zwischen den verschiedenen Stationen waren folgende (nach englischen Meilen):

Washington				
288	Pittsburg			
622	334	Cincinnati		
747	459	125	Louisville	
1045	757	423	289	St. Louis.

Als die Signale in St. Louis gegeben wurden, ergaben sich folgende Differenzen zwischen den Aufzeichnungen von Washington und den anderen Stationen:

Aufzeichnung.	Zahl der Beobachtungen.	Intervall.	Geschwindigkeit.
Pittsburg . . .	37	0,0373″	15 442 Meilen
Cincinnati . . .	46	0,0844	14 748
Louisville . . .	46	0,1163	12 846
St. Louis . . .	36	0,1108	13 484

Ebenso wurden die Differenzen der Signalpausen bestimmt, als die willkürliche Unterbrechung an den verschiedenen Zwischenstationen gemacht wurde.

Als Mittel aus sämmtlichen an diesem Tage gemachten Beobachtungen ergab sich die Fortpflanzungsgeschwindigkeit des elektrischen Stromes gleich 14900 englische Meilen.

In der folgenden Tabelle ist dies Resultat mit den anderen nach der gleichen Methode an verschiedenen Tagen erhaltenen zusammengestellt. Washington war stets die eine Endstation.

Datum.	Endstation.	Geschwindigkeit.
23. Januar 1849 . . .	Cambridge	18 000
31. October 1849 . . .	Cincinnati	18 330
4. Februar 1850 . . .	St. Louis	14 900
5. Februar 1850 . . .	Charleston	16 856

Als Mittelwerth ergiebt sich daraus eine Geschwindigkeit von 15890 englische Meilen in der Secunde.

Nach Wheatstone's sinnreichem Versuch (S. 122) ist die Fortpflanzungsgeschwindigkeit der Elektricität 288000 englische Meilen in der Secunde, also ungefähr 18mal größer, als nach den amerikanischen Versuchen.

Wheatstone's Leitung war durch Kupferdrähte gebildet, welche 1,7mm Durchmesser hatten, während zur amerikanischen Telegraphenleitung Eisendraht von 3mm Durchmesser verwendet worden war. Der specifische Leitungswiderstand des Eisens ist 6mal so groß als der des Kupfers, dagegen hatten die amerikanischen Drähte einen ungefähr dreimal größeren Querschnitt als jene; bei gleicher Länge war daher der Leitungswiderstand der amerikanischen Leitung nahezu doppelt so groß, als beim Wheatstone'schen Versuch; auf die Ungleichheit des Leitungswiderstandes läßt sich also der bedeutende Unterschied der Wheatstone'schen und Walker'schen Resultate nicht zurückführen, man muß also wohl annehmen, daß dieser Unterschied wesentlich dadurch bedingt ist, daß das eine Mal mit Reibungselektricität experimentirt wurde, während das andere Mal ein galvanischer Strom zur Anwendung kam.

Als durch Einschaltung einer weiteren galvanischen Batterie die elektromotorische Kraft vergrößert wurde, ergab sich kein merklicher Zuwachs in der Geschwindigkeit; daraus folgt jedoch noch nicht, daß die Fortpflanzungsgeschwindigkeit der Elektricität von der Stromstärke unabhängig sey.

Galvanische Uhren. Wir haben im §. 102 gesehen, wie mittelst ab- 105
wechselnden Schließens und Oeffnens des Stromes, welcher einen Magneten

umkreist, ein Zeiger auf einem Zifferblatte fortbewegt wird. Denken wir uns nun, daß das Zahnrad 60 Zähne hat, und daß die momentane Schließung der Kette alle Secunden erfolgt, so ist klar, daß der Zeiger in jeder Secunde um $^1/_{60}$ des Kreisumfanges fortgeschoben wird, daß er also ein Secundenzeiger ist.

Wird der Strom nun am Ende einer jeden Minute für einen Moment unterbrochen, so springt der Zeiger jede Minute um $^1/_{60}$ des Kreisumfanges weiter.

Das momentane Schließen der Kette am Ende einer jeden Secunde oder einer jeden Minute kann nun leicht durch ein genau gehendes Uhrwerk besorgt werden, und auf diese Weise läßt sich der Gang dieser Uhr auf mehrere entfernte Zifferblätter mit der größten Genauigkeit übertragen.

Von dem größten Werth für astronomische Beobachtungen sind die galvanisch registrirenden Uhren, welche von dem Amerikaner Locke zuerst in Anwendung gebracht wurden. Wird bei jedem Schlage des Pendels einer astronomischen Uhr die Kette geschlossen, in deren Schließungsbogen eine dem Morse'schen Telegraphen ähnliche Vorrichtung eingeschaltet ist, so wird der Stift bei jedem Secundenschlage einen Punkt auf dem mit gleichmäßiger Geschwindigkeit vorwärts bewegten Papierstreifen machen. Beim Locke'schen Apparate ging der Papierstreifen mit einer solchen Geschwindigkeit voran, daß die Secundenpunkte ungefähr einen Zoll von einander abstanden.

Neben dem Elektromagneten dieses Schreibapparates ist aber noch ein zweiter angebracht, dessen Windungen einer anderen Kette angehören, welche der Beobachter beliebig schließen kann, indem er mit dem Finger eine Taste anschlägt. Durch die Schließung dieser zweiten Kette wird nun gleichfalls ein Stift gegen den Papierstreifen gedrückt; bei wiederholtem Anschlagen entsteht so auf dem Papierstreifen neben der ersten Reihe von Punkten, den Secundenpunkten, eine zweite, welche wir Beobachtungspunkte nennen wollen.

Ist nun z. B. eine Sonnenfinsterniß zu beobachten, also genau der Moment anzugeben, in welchem der Mondrand an die Sonne tritt, so schaut der Beobachter durch das Fernrohr und hält den Finger an die Taste, welche er niederdrückt, sobald er die fragliche Erscheinung wahrnimmt. Auf diese Weise wird der Beobachtungsmoment auf dem Papierstreifen markirt.

Steht der Beobachtungspunkt neben einem Secundenpunkte, so hat die Beobachtung mit der Secunde zusammengetroffen und der Anfang der Finsterniß tritt um so viel Uhr, Minuten und Secunden ein. Trifft der Beobachtungspunkt nicht neben einem Secundenpunkte, sondern zwischen zwei Secunden ein, so kann man mit dem Zirkel die Entfernung auf dem Papierstreifen abmessen und danach (mittelst einer Scala) bestimmen, wie viel Zehntel und, wenn man will, Hundertel einer Secunde noch zu der nächst vorhergehenden

Secunde hinzukommen. So ist es möglich, den Zeitpunkt einer Beobachtung bis auf Hundertel-Secunden genau zu ermitteln.

Diese große Genauigkeit der Ablesung ist ein wesentlicher Vorzug der galvanisch registrirenden Uhr.

Bisher mußte man die Uhr immer neben sich haben, um die Secunden zu hören, und konnte eine Beobachtung nicht gerade in der unmittelbaren Nähe der Uhr gemacht werden, so war dies, selbst wo alle Hülfsmittel gegeben waren, eine sehr umständliche Sache; bei einer registrirenden Uhr dagegen ist es ganz gleichgültig, wo sie steht, da man die Drahtleitung leicht durch alle Zimmer einer Sternwarte führen kann; es ist nicht einmal erforderlich, daß die astronomische Uhr im Beobachtungssaale selbst ihren Platz habe, vielmehr erscheint es zweckmäßiger, sie in einem Wohnzimmer oder Büreau — natürlich an einem isolirten Pfeiler — aufzustellen, wo sie keiner großen Temperaturveränderung ausgesetzt ist und einen gleichmäßigen Gang einhalten kann.

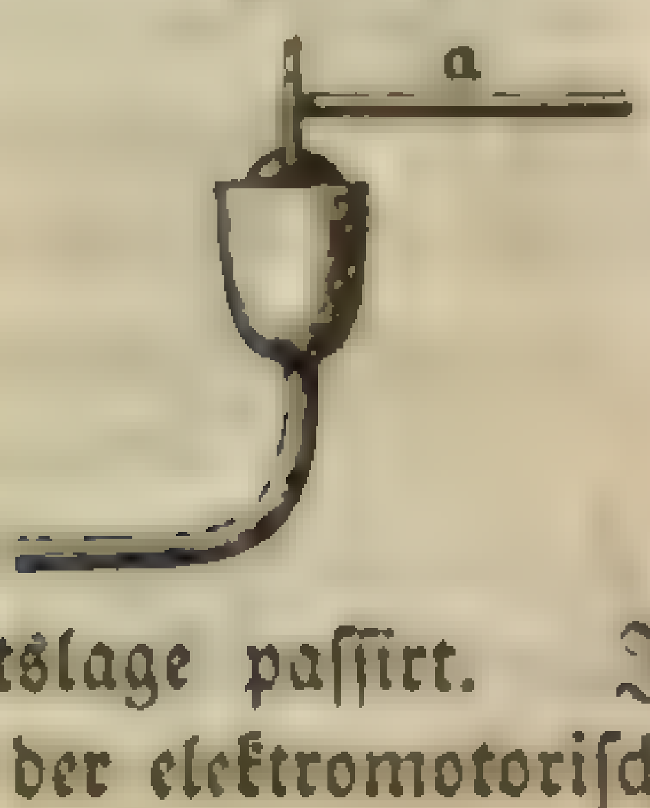
Eine registrirende Uhr läßt sich ferner noch mit dem elektrischen Telegraphen in Verbindung bringen und zu mannigfaltigen Zwecken benutzen. Dieselbe Uhr kann z. B. einen Registrirapparat an der Münchener und einen an der Wiener Sternwarte haben, und wenn an beiden Orten der Durchgang derselben Sterne über den Meridian beobachtet wird, so läßt sich daraus mit einer bisher nie erreichten Sicherheit die geographische Längendifferenz ableiten.

Lamont hat diesen Apparat sehr verbessert. Den Papierstreifen ersetzte er durch eine mit Ruß geschwärzte Metalltrommel, welche durch ein Uhrwerk mit gleichförmiger Geschwindigkeit um eine horizontale Axe gedreht wird. Auf beiden Seiten der Walze ragt die stählerne Umdrehungsaxe vor und ruht auf zwei messingenen Lagern. Die eine Hälfte dieser Axe ist nun mit einem Schraubengewinde versehen, so daß beim Umdrehen der Walze auch ein gleichförmiges Fortschieben derselben in der Richtung ihrer Längenaxe stattfindet; die Secundenpunkte, welche durch einen in Folge der Schließung der Kette an die Walze angedrückten Stift hervorgebracht werden, bilden demnach auf derselben eine Spirale.

Die Beobachtungspunkte werden durch einen dicht neben dem ersteren angebrachten Stift markirt.

Die Schließung des Stromes am Ende einer jeden Secunde bewerkstelligt Lamont dadurch, daß am unteren Ende des metallischen Pendels ein Kupferdraht eingeschraubt ist, welcher ein Quecksilbernäpfchen trägt, wie es Fig. 275 andeutet. Dieses Näpfchen ist mit Quecksilber so gefüllt, daß dieses eine über den Rand des Gefäßchens hinausragende Kuppe bildet. Vor dem Pendel befindet sich aber an einer horizontalen metallischen Axe befestigt ein Platinscheibchen, welches gerade so gestellt ist, daß es in die Quecksilberkuppe einschneidet, wenn das Pendel eben seine Gleichgewichtslage passirt. In diesem Moment geht der Strom von dem einen Pol der elektromotorischen Batterie durch den Draht *a* und das Platinscheib-

Fig. 275.

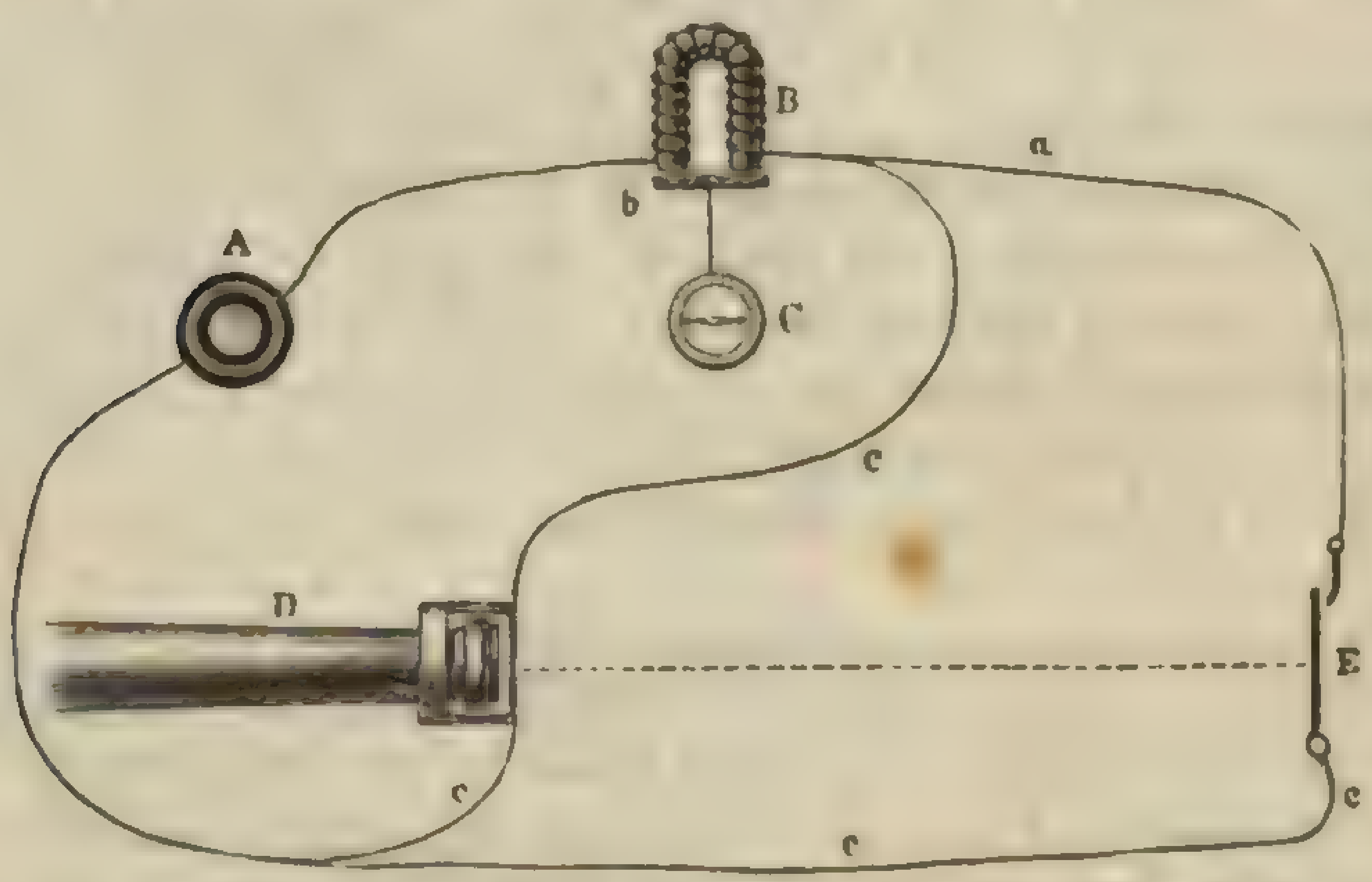


chen in das Quecksilbernäpfchen, von diesem durch das metallische Pendel zu dem messingenen Gestelle der Uhr, um endlich von diesem durch die Windungen des Elektromagneten zum anderen Pol des Elektromotors zurückzukehren.

Näheres über diese sinnreichen Vorrichtungen findet man in »Lamont's Beschreibung der an der Münchener Sternwarte verwendeten neuen Instrumente und Apparate, München 1851.«

106 **Das elektrische Chronoskop.** Wheatstone benutzte zuerst die große Geschwindigkeit der elektrischen Stromverbreitung, um sehr kleine Zeiträume zu bestimmen. Die nächste Absicht Wheatstone's war, die Zeit zu messen, welche Geschützkugeln zum Durchlaufen beliebiger Strecken ihrer Bahn brauchen. Seine Einrichtung zeigt die schematische Fig. 276. *A* ist die elektrische

Fig. 276.



Batterie; einer ihrer Pole ist mit dem Elektromagneten *B* verbunden; ist der Strom geschlossen und also der Anker des Magneten angezogen, so steht die Uhr *C* still; verliert aber der Magnet seine Kraft, so zieht eine Feder den Anker *b* ab und dadurch wird das Uhrwerk *C* ausgelöst und läuft so lange bis der Strom wieder geschlossen wird. Dieses Oeffnen und Schließen der Kette bewirkt die Kugel auf folgende Weise. Um die Mündung des Geschützes *D* ist ein Holzring gelegt, über welchen einer der beiden Drähte *c,c'* gespannt ist, welche vom anderen Pole der Säule kommen; das Ende dieses Drahtes geht zum Magneten und schließt die Kette; diese Verbindung wird durch die heraustretende Kugel zerrissen, die Kette geöffnet, und so die Uhr in Bewegung gesetzt. Der zweite Draht *c'* ist mit einem in beliebiger Entfernung aufgestellten Ziele *E* verbunden, welches so eingerichtet ist, daß die geringste Bewegung, welche ihm mitgetheilt wird, eine kleine Metallfeder in dauernde Berührung mit einem Metallstücke bringt, welches durch den Draht *a* mit demselben Pole des Magneten verbunden ist wie der Draht *c*. Berührte nun die Kugel das Ziel, so wurde dadurch die Kette abermals geschlossen, der Anker angezogen und

das Uhrwerk gestellt. Der Zeiger giebt nun die von der Kugel verwendete Zeit an.

Das Chronoskop *C* muß natürlich so eingerichtet sein, daß es noch sehr kleine Unterabtheilungen einer Secunde angeben kann.

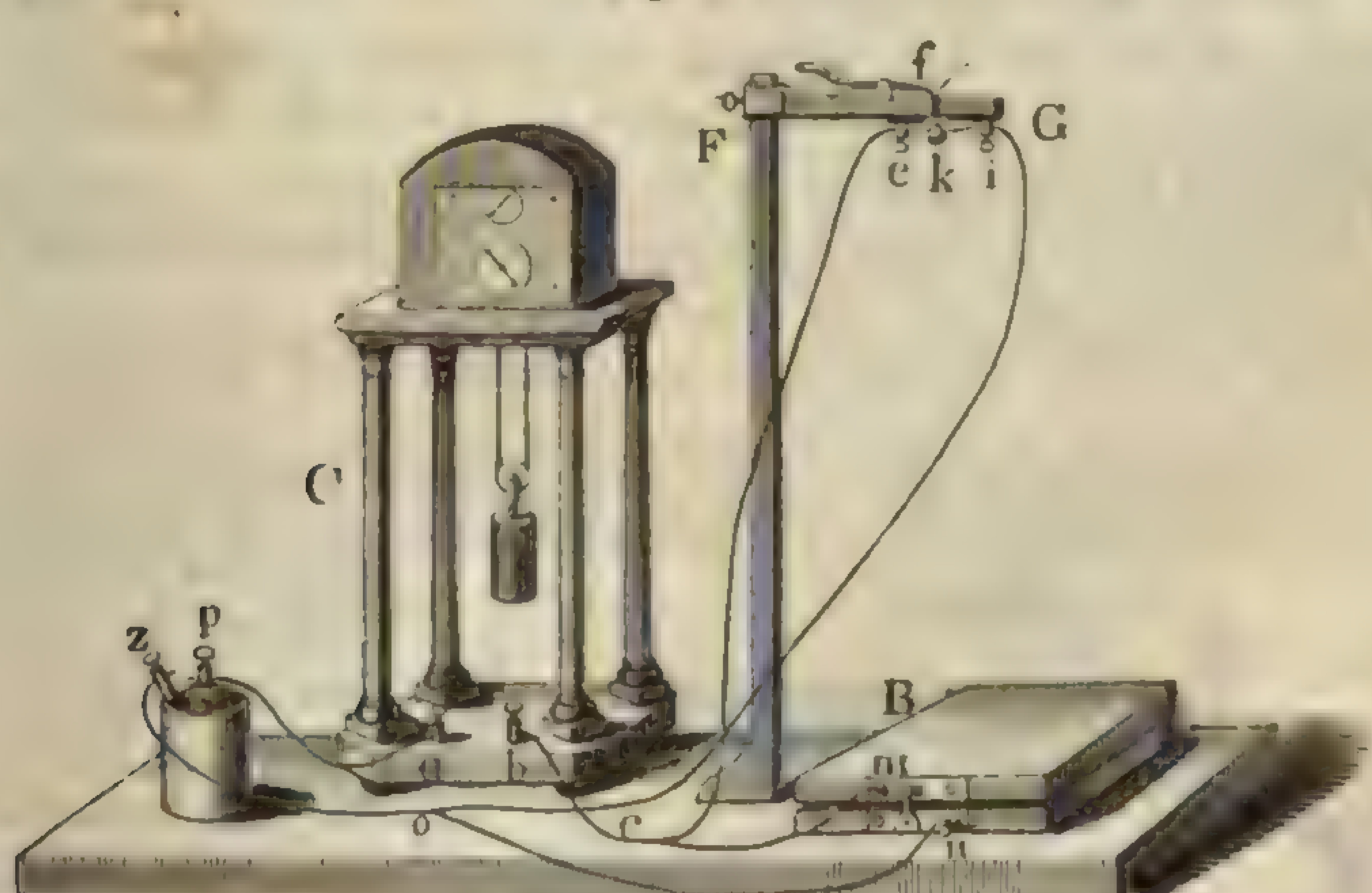
Wheatstone fand eine bedeutende Fehlerquelle darin, daß der Anker nicht rasch genug vom Elektromagneten abfiel und ebenso nicht rasch genug angezogen wurde; aus diesem Grunde hält Wheatstone selbst seine Messungen nur bis auf $\frac{1}{60}$ Secunde genau. Dieser Fehler läßt sich wohl am besten vermeiden, wenn man, wie beim Morse'schen Telegraph, den Anker nicht ganz in Berührung mit dem Elektromagneten kommen läßt.

In Wheatstone's Chronoskop erkannte Hipp als Hauptfehler den Umstand, daß das Uhrwerk erst beim Beginne der zu messenden kleinen Zeit in Gang gesetzt wird, wobei nothwendig eine größere, jedoch für alle Versuche etwa gleiche Zeit verstreicht, bis das Werk in gleichförmigen Gang gekommen ist, eine Zeit, die in manchen Fällen selbst größer seyn wird, als die zu messende.

Hipp änderte nun den Apparat dahin ab, daß er den Zeiger der Uhr nur durch den Elektromagneten mit dem schon in Gange befindlichen Uhrwerk verbinden ließ, so lange die zu messende Zeit dauerte, und Oehlschläger will bei Fallversuchen mit einem solchen Instrumente, welches $\frac{1}{500}$ Secunde angab, sehr gute Resultate erhalten haben, selbst bei Fallhöhen von 20 — 1500 Millimetern.

Fig. 277 zeigt ein solches Chronoskop in einer Zusammenstellung mit der Kette und dem Fallapparat. Der Strom geht von *e* durch die Kugel *k* nach *i*; die Kugel ist von einem Faden getragen, welcher durch einen Druck auf

Fig. 277.

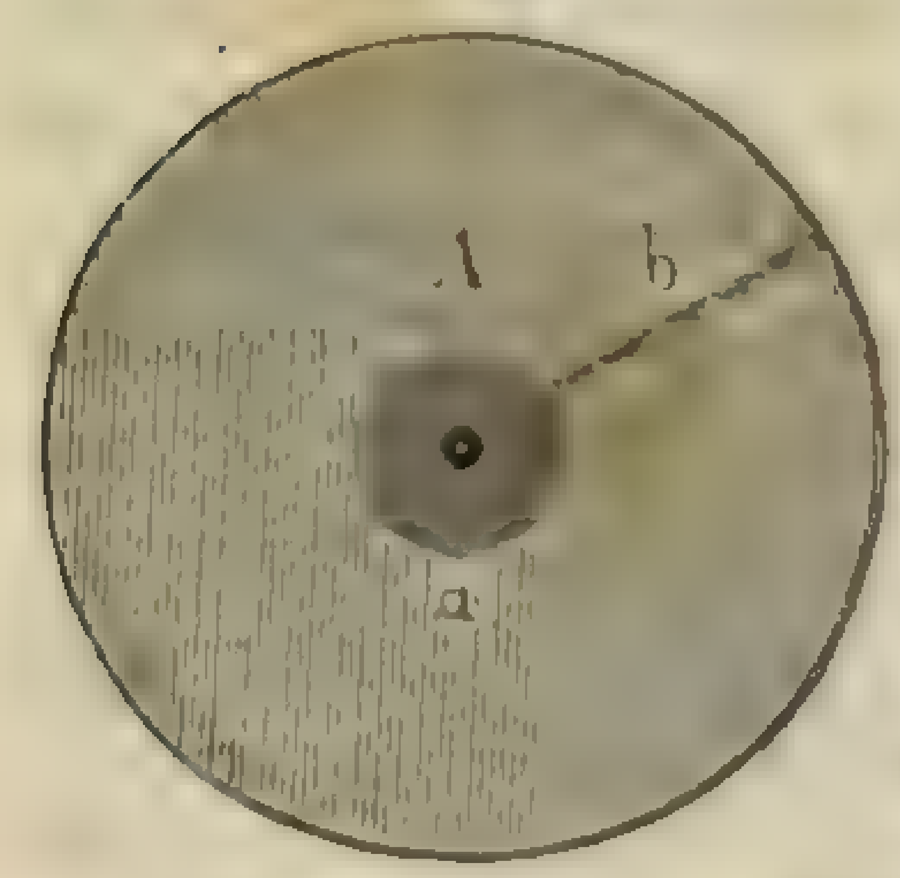


f ausgelöst wird. Die Kugel fällt auf das Brettchen *B* und stellt durch ihr Aufschlagen die Verbindung bei *m* und *n* wieder her. *F* ist ein getheilter Stab.

Pouillet sucht die Messung kleiner Zeittheilchen auf einem anderen Wege zu bewerkstelligen. Er geht nämlich von der Ansicht aus, daß die Größe des durch einen vorübergehenden Strom bewirkten Ausschlages der Nadel von der Stärke des Stromes und von der Zeit abhänge, während welcher derselbe auf die Nadel wirkt, wenn diese letztere überhaupt nur klein ist. Man kann also aus dem unter verschiedenen Umständen erfolgenden Ausschlage auf die Zeit schließen, wenn immer der gleich starke Strom angewendet wird und das Verhältniß zwischen Zeit und Ausschlag bekannt ist. Pouillet hat das letztere nicht theoretisch entwickelt, sondern durch Versuche auf folgende Weise eine Tabelle construirt.

Auf eine runde Glasplatte *A*, Fig. 278, von 84 Centimeter Durchmesser, welche um eine Axe gedreht werden konnte, wurde rund um die Axe herum ein ziemlich breiter kreisförmiger Stanniolstreifen *a*, von diesem aus aber ein gerader Streifen *b* als Halbmesser geklebt, der nur ein Millimeter Breite hatte. Von den beiden Stromenden ruhte das eine federnd auf dem Stanniolstreifen *a*, das andere auf der Platte; wird letztere gedreht, so schließt sich die Kette so oft und auf so lange, als sich der Stanniolstreifen *b* unter der Feder befindet. Man kann nun aus der Umdrehungszeit der Glasscheibe und der Entfernung der zweiten Feder von der Achse die Zeit der Schließung leicht bestimmen; sie war bei Pouillet, wenn die zweite Feder nahe am Rande der Glasplatte auflag und diese in einer Secunde einmal umgedreht wurde, $\frac{1}{2250}$ Secunde.

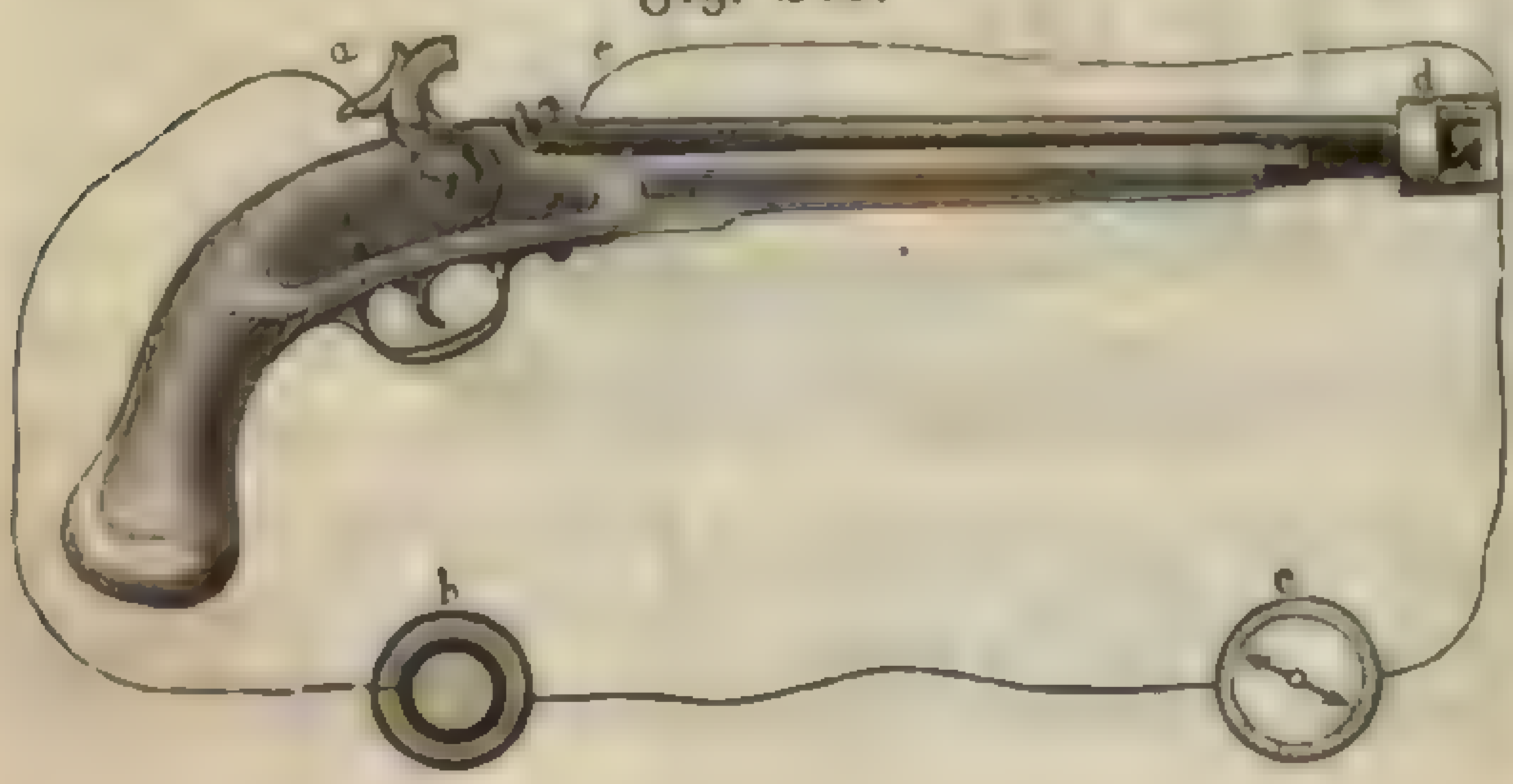
Fig. 278.



Pouillet fand, daß der Strom einer Säule aus sechs Daniell'schen Elementen, der 40 Meter Kupferdraht von 1 Millimeter Durchmesser zu durchlaufen hatte und während $\frac{1}{5000}$ Secunde auf die Nadel eines wenig empfindlichen Galvanometers wirkte, eine Ablenkung von 12 Graden bewirkte, welchen Bogen die Nadel in 10 Secunden zurücklegte. Mit einem anderen empfindlicheren Instrument erhielt Pouillet bei einem Elemente und 20 Meter Kupferdraht in $\frac{1}{5000}$ Secunde 15^0 Ablenkung.

Pouillet hat nur Versuche über die Geschwindigkeit der Pulverentzündung gemacht, wobei er folgende Vorrichtung benutzte. Das Schloß eines Gewehres wurde vom Laufe isolirt, und der Hahn *a*. Fig. 279, mit dem einen Pole einer Volta'schen Batterie *b* verbunden. Von dem anderen Pole führte ein Draht zum Multiplicator *c* und von diesem über einen Holzring *d* vor der Mündung des Gewehres weg an das Zündhütchen *e*. Die Kette war also ge-

Fig. 279.



schlossen von dem Augenblick an, wo der Hahn aufschlug, bis zu jenem, wo die Kugel den Lauf verließ. Bei der angewendeten Ladung fand Pouillet diese Zeit = $\frac{1}{140}$ — $\frac{1}{150}$ Secunde. Pouillet hoffte, daß sein Instrument noch manche andere Anwendungen gestatten werde, namentlich um die Dauer der sogenannten momentanen Ströme zu bestimmen.

Richtung der Ströme unter dem Einfluß des Erdmagnetismus. 107
Da der Strom eine Wirkung auf den Magneten hervorbringt, so konnte man nicht zweifeln, daß auch umgekehrt die Magnete eine gleiche Wirkung auf den Strom ausüben, ihn also auch zu richten und auf verschiedene Weise zu bewegen im Stande sind. Unter allen diesen umgekehrten Erscheinungen ist die Einwirkung des Erdmagnetismus auf die Ströme am interessantesten, und man hatte schon lange versucht, bewegliche Ströme herzustellen, welche, sich selbst überlassen, alle Erscheinungen der Nadel zeigen sollten. Alle diese Versuche aber mißlangen, weil man dem Strome die nöthige Beweglichkeit nicht geben konnte. Bald aber wurden alle diese Schwierigkeiten von Ampère durch eine sinnreiche Aufhängung überwunden, die sich auf alle Ströme anwenden läßt.

Fig. 280.

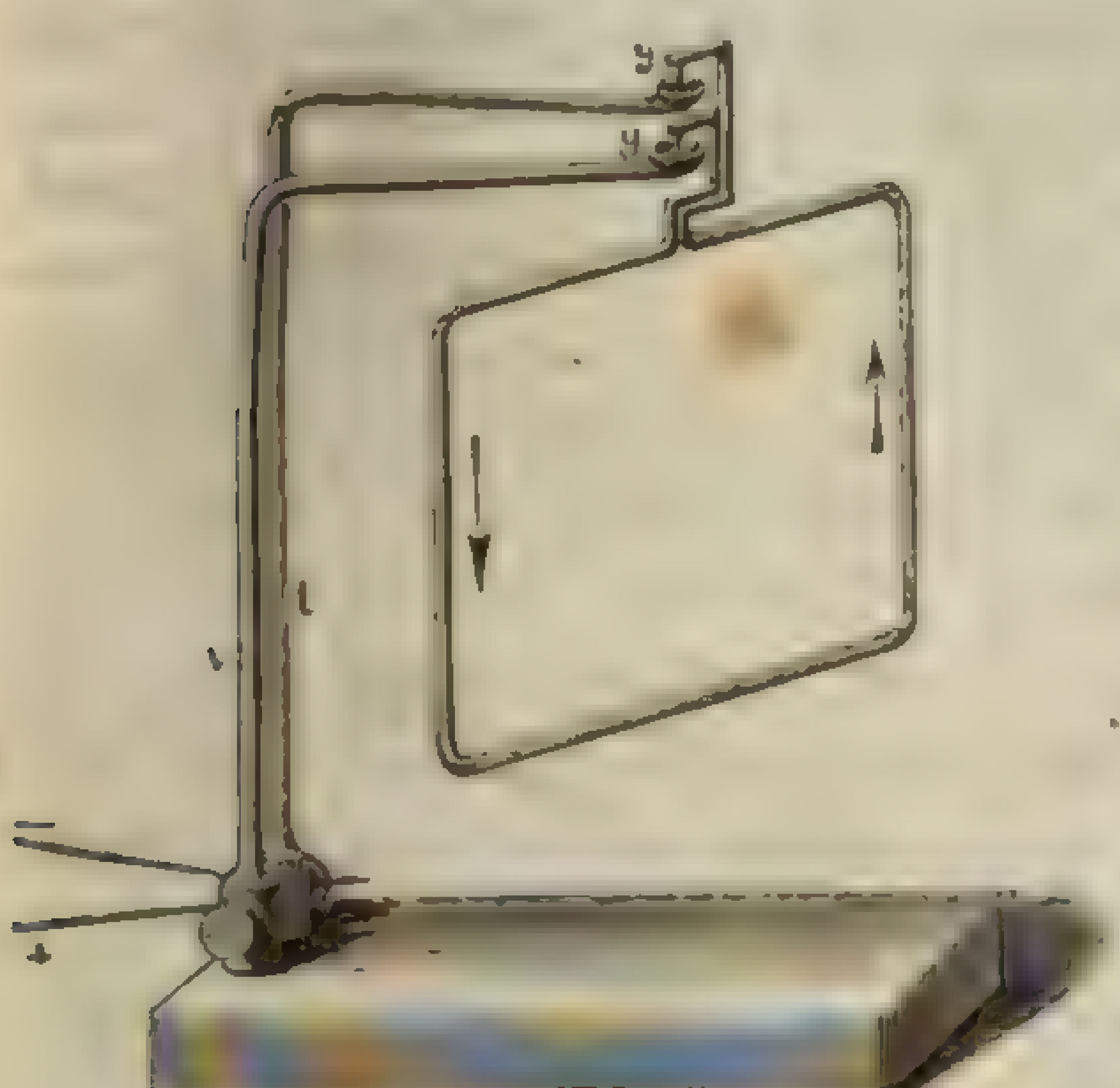


Fig. 280 stellt zwei vertikale Säulen von Messing dar, welche auf einem Fuße von Holz befestigt sind; oben tragen sie horizontale Arme, die mit den Quecksilbernäpfchen x und y endigen, deren Mittelpunkte genau vertikal unter einander stehen. Die beiden Säulen sind nirgends in leitender Berührung. Unten sind sie etwas dicker, so daß man die zu den Polen eines galvanischen Rheomotors führenden Leitungsdrähte einschrauben kann; dadurch wird das eine Quecksilbernäpfchen gewissermaßen zum positiven, das andere zum negativen Pole.

In diese Quecksilbernäpfchen werden nun Leitungsdrähte eingehängt, wie sie Fig. 281 und Fig. 282 dargestellt sind. Da, wo sich die beiden Drahtenden

Fig. 281.

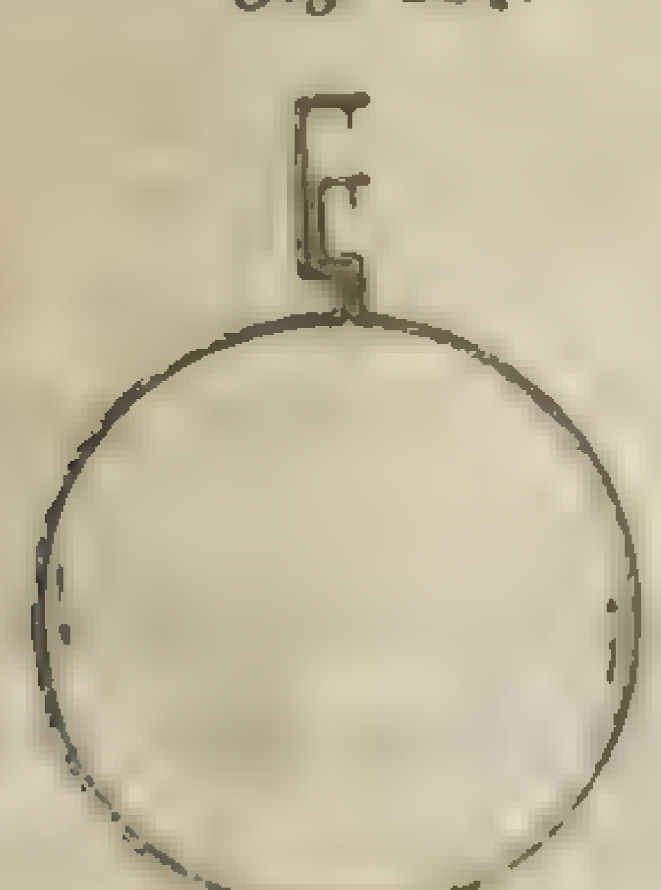


Fig. 282.



zu berühren scheinen, sind sie durch eine isolirende Substanz getrennt; sie sind oben umgebogen und mit Stahlspitzen versehen, die in die Näpfchen *x* und *y*, Fig. 280, eingetaucht werden. Die eine Spitze geht bis auf den Boden des Näpfchens und ruht hier auf einer kleinen Glasplatte, die andere Spitze taucht nur in das Quecksilber ein. Durch diese Aufhängung ist der Draht ungemein leicht beweglich.

Läßt man nun einen Strom hindurchgehen, so dreht sich der Draht, um nach einigen Oscillationen in einer bestimmten Lage stehen zu bleiben, in die er auch stets wieder zurückkehrt, wenn man ihn daraus entfernt. Kehrt man den Strom um, so macht der Kreis eine halbe Umdrehung und kommt alsdann wieder zur Ruhe. In beiden Gleichgewichtslagen steht der Kreis so, daß seine Ebene mit der des magnetischen Meridians einen rechten Winkel macht. Ein stabiles Gleichgewicht findet Statt, wenn in der unteren Hälfte des Kreises der positive Strom von Osten nach Westen geht.

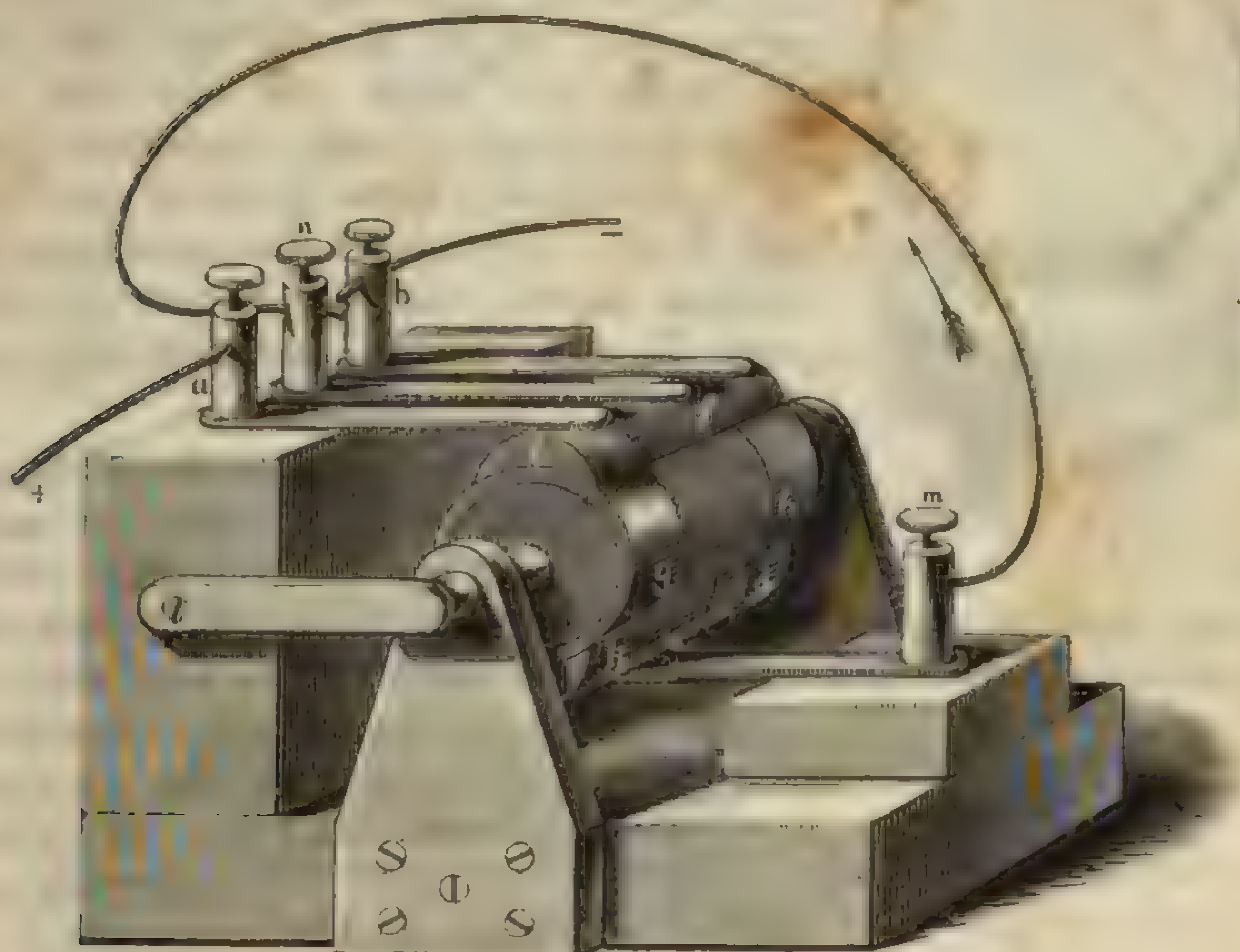
Wendet man statt des kreisförmigen Drahtes einen rechtwinklig gebogenen an, wie Fig. 282, oder giebt man ihm irgend eine andere Gestalt, so bleiben die Resultate doch stets dieselben.

Um den Strom leicht, rasch und sicher umkehren zu können, wendet man Apparate an, welche den Namen Stromwender, Gyrotrop oder Commutator führen. Bei den früheren derartigen Apparaten war immer Quecksilber in Anwendung gebracht worden, welches man in neuerer Zeit, der mannigfachen Uebelstände wegen, die es mit sich bringt, möglichst zu vermeiden sucht. Fig. 283 stellt einen Stromwender dar, bei dessen Construction kein Quecksilber in Anwendung kommt. Eine Walze von Holz ist um eine horizontale Axe mittelst des Hebels *l* drehbar. Auf ihrer vorderen Seite trägt sie einen Metallring *g*, auf der hinteren einen solchen *h*. Auf jedem dieser Ringe sind diametral gegenüberstehend zwei Metallwülste aufgelöthet, von denen der eine nicht länger ist als der Ring selbst, während der andere über denselben hinausragt, und zwar bis über die Mitte der Walze reichend. So sitzen auf dem Ringe *g* die Wülste *i* und *k*, auf *h* sitzen *d* und *f*. Bei der Stellung, welche die Figur zeigt, sind die Wülste *i* und *f* gerade nach oben, *d* und *k* nach unten gekehrt, und drücken deshalb fest gegen die mit den Messingsäulchen *a*, *n*, *b* und *m* in Verbindung stehenden Metallfedern an. Nun sey *a* mit dem positiven und *b* mit dem negativen Pol der Säule in Verbindung; ferner seyen in *m* und *n* die Enden der Drahtleitung eingeschraubt, durch welche man einen Strom hindurchsenden will, so geht der positive Strom von *a* durch die zu diesem Säulchen gehörige Feder über *i*, *g* und *k* zur Feder des Säulchens *m*, von *m* durch den Schließungsdraht nach *n*, durch die Feder von *n* auf den Wulst *f*, und von *f* durch die Feder des Säulchens *b* nach diesem selbst und nach dem negativen Pol des Rheomotors.

Dreht man den Hebel *l* um eine Viertelumdrehung, so daß der Arm vertikal noch oben zu stehen kommt, so ist der Strom ganz unterbrochen, weil die Federn von *m* und *n* nicht mehr auf Metall aufliegen; legt man aber ganz

um, so daß der Arm *l* nach der rechten Seite steht, so wird der Schließungsbogen in einer der eben besprochenen entgegengesetzten Richtung durchströmt, wovon man sich leicht durch aufmerksames Beschauen der Fig. 283 überzeugen kann;

Fig. 283.



denn nun liegen die Federn von *a* und *n* auf *k* auf, die Feder von *b* schleift auf *d*, die von *m* auf *f*.

Das Princip dieses Stromwenders ist dem Commutator des Apparates Fig. 257 auf Seite 275 entnommen.

Um den Apparat Fig. 280 mit diesem Stromwender in Verbindung zu bringen, muß man die Säulchen *m* und *n*, Fig. 283, mit dem Fuße der Stäbchen *v* und *t* durch Drähte verbinden, etwa *v* mit *m* und *t* mit *n*.

Fig. 284.

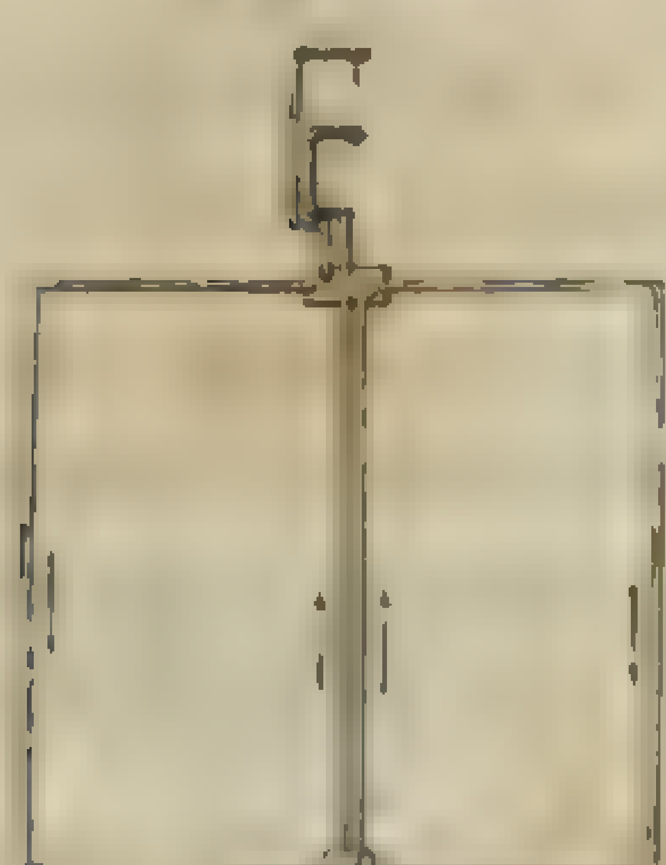


Fig. 284 stellt einen beweglichen astatischen Leitungsdraht dar, d. h. einen solchen, der aus zwei geschlossenen Theilen besteht, welche der Erdmagnetismus in entgegengesetzter Weise zu richten strebt, und das ganze System nun kein Bestreben mehr zeigt in einer bestimmten Stellung stehen zu bleiben.

De La Rive hat einen recht sinnreichen Apparat angegeben, welcher dazu dient, zu zeigen, wie selbst schwache Ströme durch Magnete, ja schon durch den Erdmagnetismus gerichtet werden können. Es

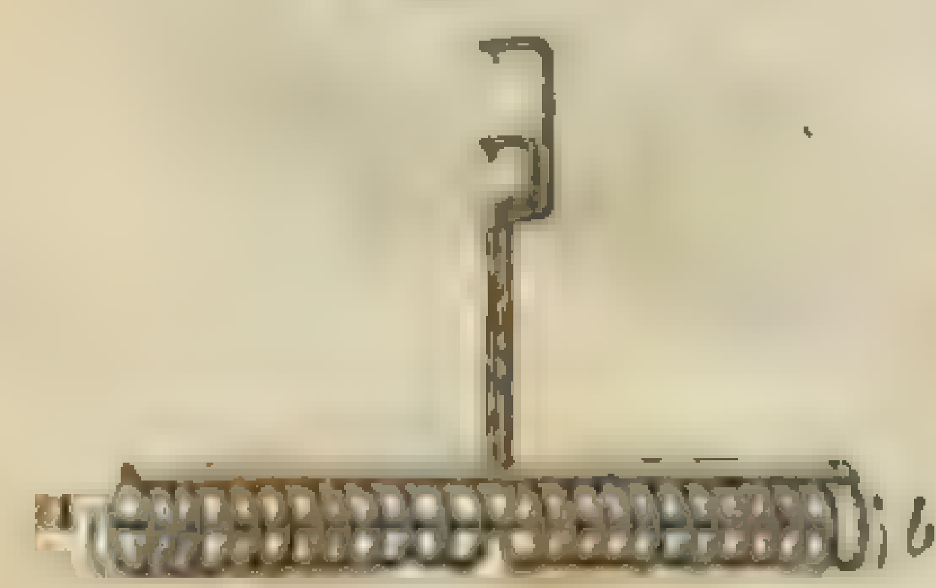
ist nämlich ein schwimmender Strom. In einem Stück Kork, Fig. 285, welches auf gesäuertem Wasser schwimmt, ist ein Stück Zink, z, und ein Stück Kupfer befestigt, und beide Platten sind durch einen Kupferdraht verbunden; dieser Draht bildet mehrere kreisförmige Windungen. Auf das Wasser gesetzt, bildet sich ein Strom, der vom Zink im Wasser zum Kupfer und dann durch den Draht in der durch den Pfeil angedeuteten Richtung hindurchgeht. Dieser Strom ist nun schon stark genug, um durch den Erdmagnetismus gerichtet zu werden; noch mehr wird er also durch einen Magneten gerichtet, angezogen und abgestoßen.

Fig. 285.



Weil sich ein geschlossener kreisförmiger Strom, welcher um eine vertikale Axe drehbar ist, rechtwinklig zum magnetischen Meridian stellt, so folgt, daß eine Verbindung unter sich paralleler Kreise, die in derselben Richtung durchströmt werden, sich ebenso stellen muß. So muß sich denn auch der Schraubendraht, Figur 286, an dem Ampère'schen Stativ aufgehängt und von einem Strome durchlaufen, so stellen, daß die Axe des Schraubendrahtes in die Richtung der Declinationsnadel fällt.

Fig. 286.



Es geht daraus nicht allein hervor, daß auf diese Weise die Declinationsnadel durch einen Schraubendraht nachgeahmt werden kann, sondern auch, daß der Nordpol derjenige ist, für welchen der aufsteigende Strom auf der rechten Seite liegt, wenn man ihn von seiner Seite her betrachtet. Sieht man den Schraubendraht von *a* aus an, so hat man in der That den aufsteigenden Strom zur Rechten, den niedersteigenden zur Linken; betrachtet man aber den Schraubendraht in der Richtung von *b* her, so hat man den aufsteigenden Strom zur Linken; *a* ist also das Ende welches sich nach Norden richtet.

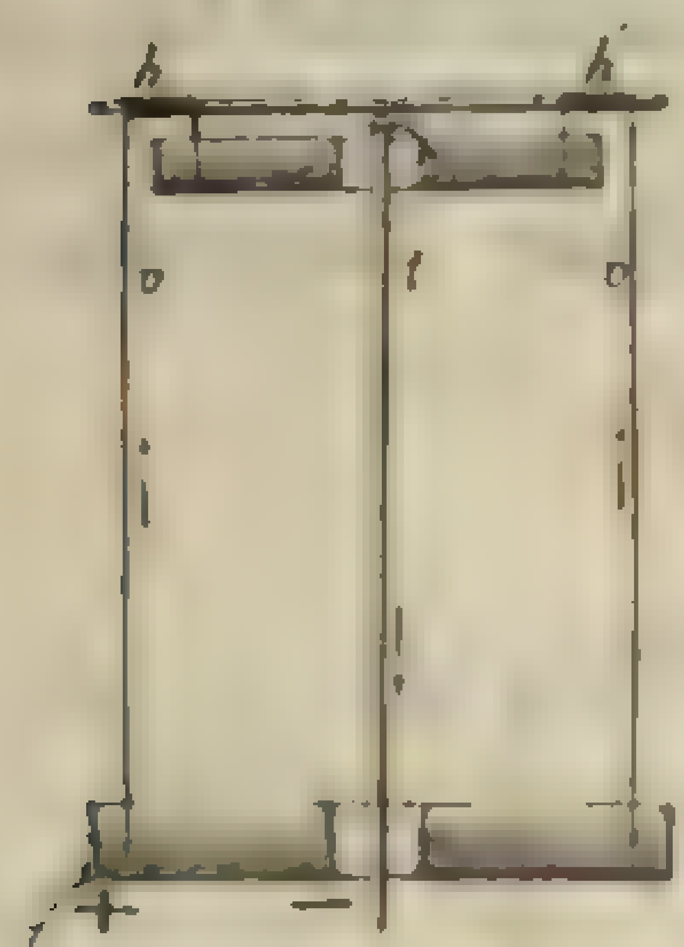
Das Brettchen, welches den verschiedenen Windungen des Schraubendrahtes, Fig. 286, zur Befestigung dient, besteht aus einer nichtleitenden Substanz.

Wenn man den Schraubendrähten, welche wir soeben betrachtet haben, einen Magnetstab nähert, so kann man ganz ähnliche Erscheinungen beobachten, als ob man den Magnetstab einer Declinationsnadel näherte. Ueberhaupt werden natürlicher Weise alle bisher betrachteten Apparate auch durch Magnetstäbe afficirt werden.

Um sich von der Wirkung der Erde auf Ströme genügend Rechenschaft ge-

ben zu können, muß man die Wirkung auf vertikale und horizontale Ströme besonders untersuchen. Für vertikale Ströme kann man sich des Fig. 287 dargestellten Apparates bedienen. Er besteht aus zwei cylindrischen Gefäßen von Kupfer; der Durchmesser des unteren ist etwas größer als der des oberen.

Fig. 287.



In der Mitte haben beide Gefäße eine cylindrische Oeffnung, durch welche ein Stab *t* hindurchgeht, der oben mit einem Quecksilbernäpfchen endigt. Das Querstäbchen *h h'* ist aus einer nichtleitenden Substanz verfertigt und hat in der Mitte eine Spitze, mittelst welcher es auf dem Boden des Schälchens aufsitzt und sehr leicht drehbar ist. Das untere Gefäß sowohl wie das obere sind mit gesäuertem Wasser angefüllt. Die Drähte *v* und *v'* sind mit ihrem unteren Ende in die Flüssigkeit des unteren Gefäßes eingetaucht; oben ist jeder Draht mit einigen Windungen an dem Querstabe *h h'* befestigt und ragt dann in das saure Wasser des oberen Gefäßes herab. Das untere Gefäß ist durch einen Draht mit dem einen, der Stab *t* mit dem anderen Pole der Kette in Verbindung gesetzt; tritt also der positive Strom in das untere Gefäß, so steigt er von da durch die Drähte *v* und *v'* in die Höhe, tritt dann in das saure Wasser des oberen Gefäßes, von da durch einen Draht in das Näpfchen, um endlich durch den Stab *t* wieder hinabzugehen.

Nimmt man das obere oder untere Ende eines der beiden Drähte *v* oder *v'* aus dem sauren Wasser des oberen oder unteren Gefäßes, so kann der Strom nur durch einen Draht hinaufsteigen. In diesem Falle stellt sich das System so, daß seine Ebene auf der des magnetischen Meridians rechtwinklig und daß, bei aufsteigendem Strome, der Draht, den er durchläuft, westlich vom Stabe *t* steht. Circulirt der Strom in entgegengesetzter Richtung, so stellt sich der Draht, indem er niedersteigt, auf die Ostseite.

Wenn beide Drähte oben und unten eingetaucht sind, wie es die Figur zeigt, so hat das System keine richtende Kraft mehr, es befindet sich in jeder Lage im Gleichgewichte, denn auf jeden Draht wirkt eine Kraft, die der auf den anderen wirkenden gleich und entgegengesetzt ist.

Gegenseitige Wirkung galvanischer Ströme auf einander. 108
Die gegenseitige Wirkung, welche Ströme auf einander ausüben, wurde von Ampère entdeckt, und fast Alles, was man darüber weiß, verdankt man seinen Untersuchungen. Wenn es auch nicht möglich ist, in ein Lehrbuch die ganze Ampère'sche Theorie aufzunehmen, so werden wir doch die wichtigsten Versuche anführen, auf welche sie sich stützt, und die Grundsätze derselben mittheilen.

Zwei parallele Ströme üben immer eine Wirkung auf einander aus, welche mehr oder weniger lebhaft ist, je nach ihrer Entfernung, ihrer Intensität und Länge. Betrachtet man nun die Richtung der hervorgebrachten Bewegung, so

ist diese folgendem einfachen Gesetze unterworfen: Zwei parallele Ströme ziehen sich an, wenn sie sich in gleicher Richtung bewegen, sie stoßen sich aber ab, wenn ihre Richtungen entgegengesetzt sind.

Experimentell läßt sich dieser Satz leicht auf folgende Weise darthun: Man hänge in die Quecksilbernäpfchen des Stativs Fig. 280 den astatischen Stromleiter Fig. 283 auf Seite 313, und stelle daneben das einen rechtwinklig gebogenen Leitungsdraht tragende Brettchen Fig. 289 so auf, daß das vertikale Drahtstück *ab* sich in der Nähe eines der vertikalen Stromarme des

Fig. 288.

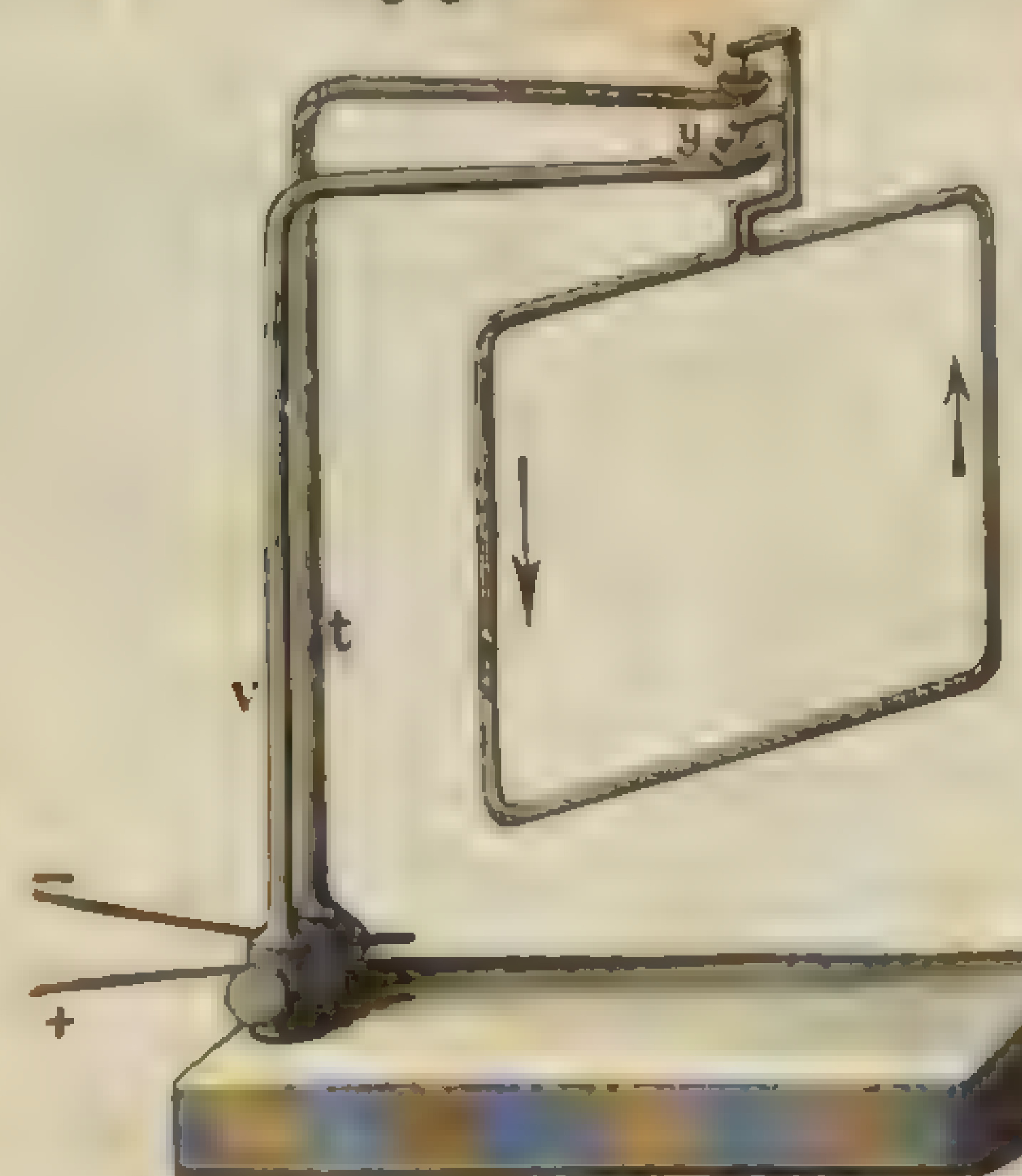
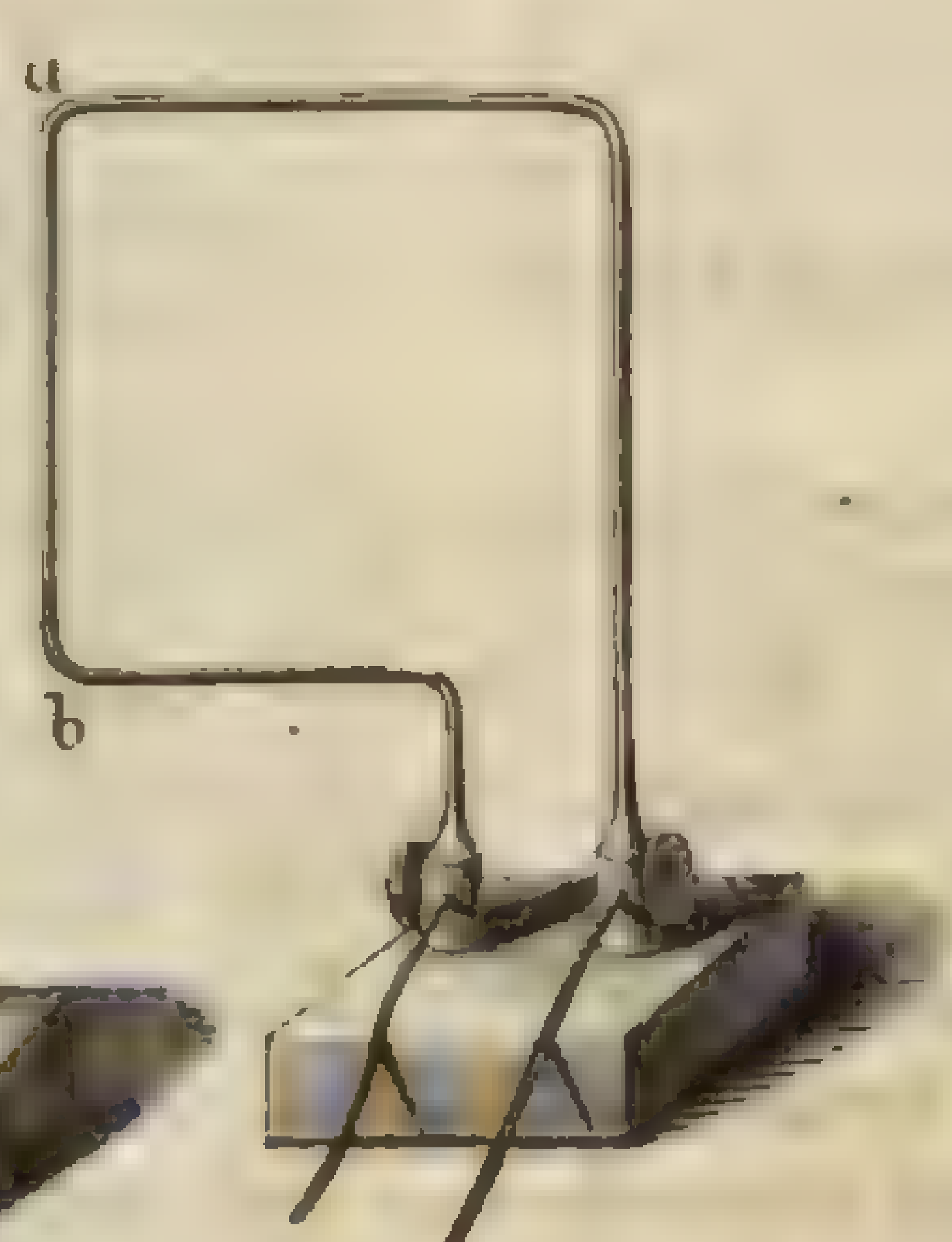


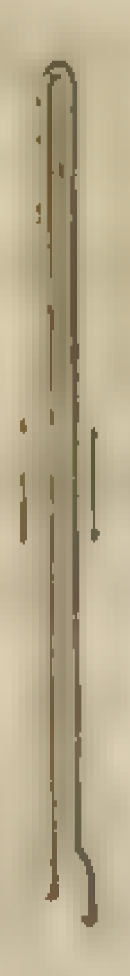
Fig. 289.



beweglichen Leiters befindet. Man läßt nun den Strom einer Säule von etwa 3 Bunsen'schen Bechern durch den beweglichen Stromleiter, Fig. 288, den Strom von 3 anderen durch den festen Draht, Fig. 289, hindurchgehen. Entweder das Stativ, Fig. 288, oder auch der feste Leitungsdraht ist mit einem Commutator verbunden. — Laufen nun die Ströme in den benachbarten vertikalen Drahtstücken in gleicher Richtung, so beobachtet man eine Anziehung, welche in Abstoßung übergeht, wenn man mittelst des Commutators den Strom in einen Leitungsdraht umkehrt.

Wenn ein Draht umgebogen ist, wie Fig. 290, so daß zwei parallele Ströme in entgegengesetzter Richtung dicht neben einander herlaufen, so ist ihre Wirkung Null.

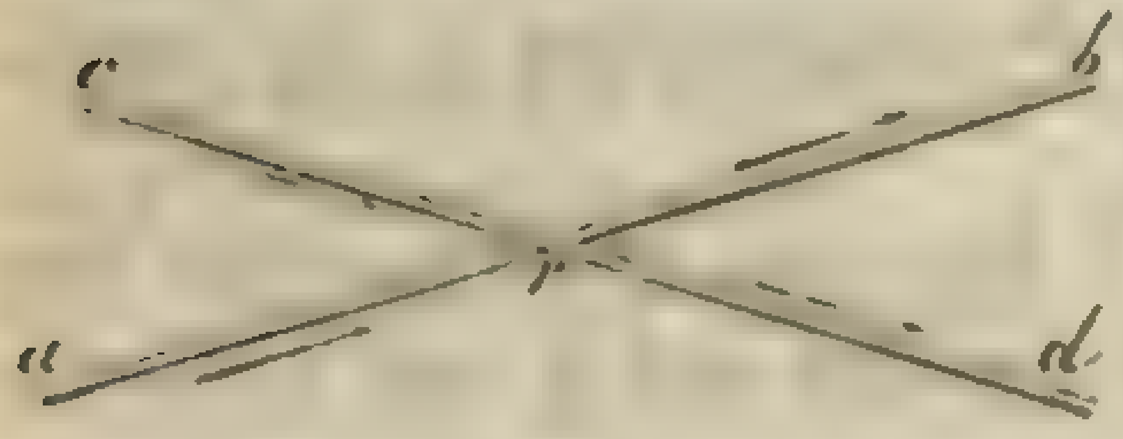
Fig. 290.



Wir nennen gekreuzte Ströme diejenigen, die nicht parallel sind, mögen sie nun in einer Ebene liegen und ihre Richtungen sich schneiden, oder mögen sie in verschiedenen Ebenen liegen, so daß sie sich nicht treffen. Im ersten Falle ist der Kreuzungspunkt derjenige, in welchem sie sich schneiden, im zweiten Falle ist es ein Punkt der kürzesten Entfernung beider Ströme. Zwei gekreuzte Ströme streben sich immer parallel zu stellen, um sich nach einer Richtung zu bewegen, oder mit anderen Worten: es findet Anziehung zwischen den Theilen des Stromes Statt, welche nach dem Kreuzungspunkte hingehen, und dann

wieder zwischen denen, welche vom Kreuzungspunkte abgehen. Abstoßung aber findet Statt zwischen einem Strome, welcher sich nach dem Kreuzungspunkte hin bewegt, und einem anderen, welcher von ihm weggeht.

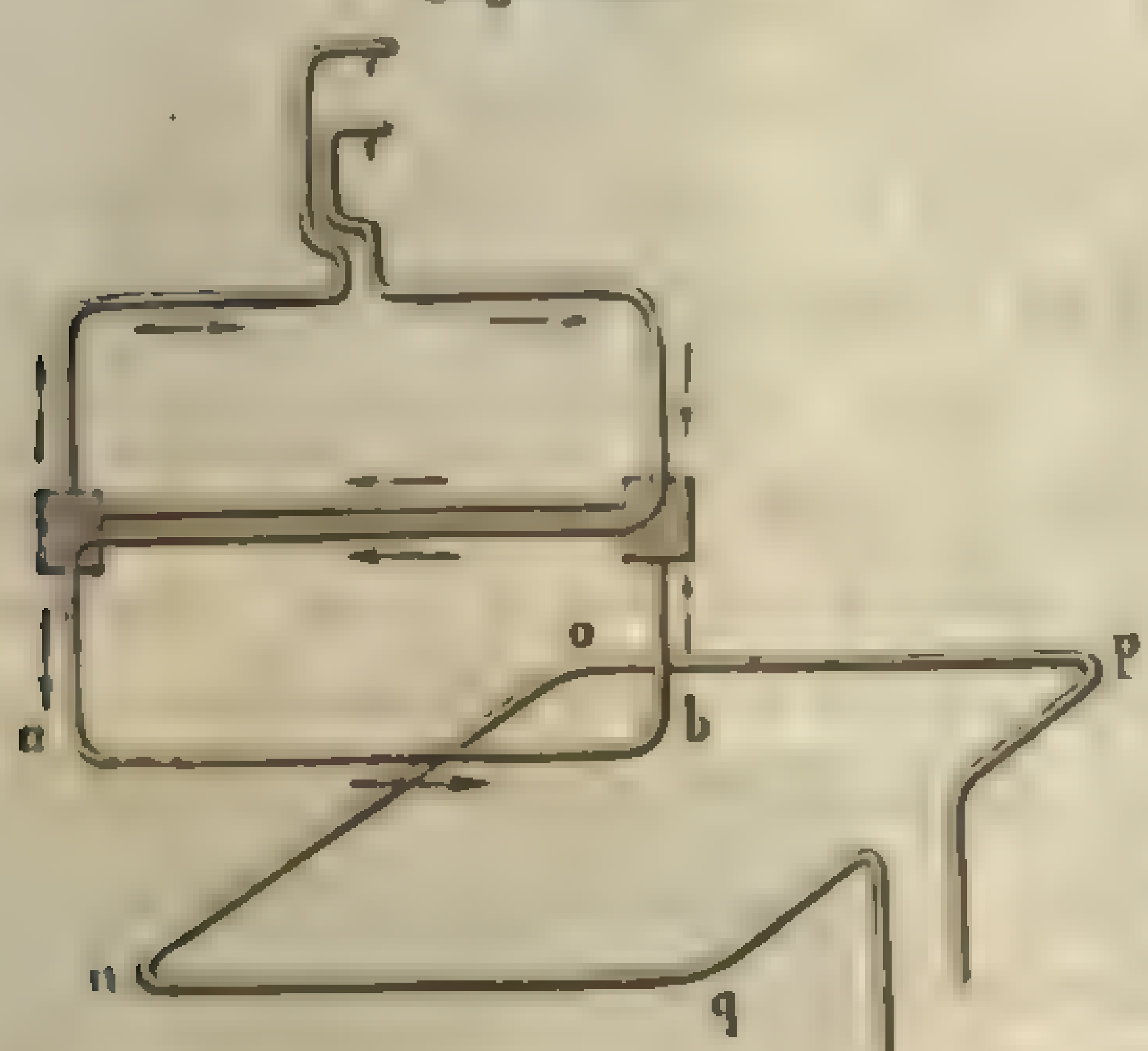
Fig. 291.



Sind z. B. *ab* und *cd*, Fig. 291, zwei Ströme, deren Kreuzungspunkt *r* ist, so findet eine Anziehung zwischen den Theilen *ar* und *cr* Statt, in welchen der Strom nach dem Kreuzungspunkte hingeht, und zwischen den Theilen *rb* und *rd*, in welchen er vom Kreuzungspunkte abgeht. Abstoßung findet zwischen *ar* und *rd*, ferner zwischen *cr* und *rb* Statt.

Es läßt sich dies experimentell darthun, wenn man an das Ampère'sche Gestell, Fig. 280, Seite 311, eine astatische Stromvorrichtung anhängt, bei welcher, wie man in Fig. 292 sieht, die beiden entgegengesetzt wirkenden geschlossenen Stromtheile nicht neben einander sind, wie Fig. 283, sondern unter einander. Hält man nun unter das horizontale Drahtstück *ab* des astatischen beweglichen Leiters einen horizontalen Leitungsdraht *qnop*, welcher in ähnlicher Weise auf einem Brettchen befestigt seyn kann, wie der Draht in Fig. 289, so daß *on* einen beliebigen Winkel mit *ab* macht, so wird sich der bewegliche Leiter in einer dem eben ausgesprochenen Satze entsprechenden Richtung drehen.

Fig. 292.



Garthe hat zur Demonstration desselben Satzes einen sehr zweckmäßigen, Fig. 293 im vertikalen Durchschnitt in $1/4$ der natürlichen Größe dargestellten Apparat construirt. Er besteht aus zwei Rahmen, welche durch 8 bis 10 Windungen eines ungefähr $0,3^{mm}$ dicken übersponnenen Kupferdrahtes gebildet sind. Der größere dieser Multiplicatorrahmen *abcd*, dessen Drahtenden in den Messingsäulchen *k* und *z* eingeklemmt sind, wird

Fig. 293.



durch die Säulchen *m* und *n* getragen. Der zweite, etwas kleinere, aber bewegliche Multiplicatordraht *fegh* ist auf einem metallenen Träger aufgewickelt, welcher in der Figur im Durchschnitt erscheint und ganz schwarz gemacht

ist. Er trägt in seiner Mitte ein metallenes Hütchen, um seine Bewegung auf einer Stahlspitze zu ermöglichen. Diese Stahlspitze sowohl, als der hölzerne Fuß *pqr* gehen durch eine freigelassene Oeffnung des ersten feststehenden Drahtgewindes hindurch. Die Enden des beweglichen Drahtrahmens tauchen in eine kreisförmige Quecksilberrinne, welche durch eine elfenbeinerne Scheidewand (vertikal zur Ebene des Papiers) in zwei halbkreisförmige Theile geschieden ist. Eine dieser Abtheilungen ist mit dem Messingsäulchen *v*, die andere mit *w* verbunden.

Um den Apparat in Thätigkeit zu setzen, hat man zwei Bunsen'sche oder Grove'sche Becher nöthig. Die Pole des einen werden mit *k* und *z*, die des anderen mit *v* und *w* verbunden.

Aus dem eben erläuterten Satze geht hervor, daß ein Strom *abc*, Fig. 294, welcher einen Winkel bildet, ein Bestreben hat, den Draht zurückzubiegen, weil sich die Theile *ab* und *bc* des Stromes abstoßen.

Fig. 294.



Diese Abstoßung strebt nicht bloß, *bc* in die Verlängerung von *ab* zu bringen, sondern sie wirkt auch noch, wenn diese Bedingung erfüllt ist, d. h. die verschiedenen zusammenhängenden Theile eines und desselben geradlinigen Stromes stoßen sich ab. Es ist dies eine wichtige Folgerung aus der Ampère'schen Theorie; was jedoch den experimentellen Beweis für diesen Satz betrifft, so möchte wohl noch viel zu wünschen übrig sein. Der Apparat, dessen man sich dazu bedient, ist Fig. 295 dargestellt. Ein mit Quecksilber gefülltes Gefäß ist durch eine nichtleitende Scheidewand *ab* in zwei Abtheilungen getheilt. Ein mit Seide übersponnener Kupferdraht ist so gebogen, daß er von einer Abtheilung in die andere führt und daß sich in jeder Gefäßabtheilung noch ein horizontaler Arm befindet, welcher der Scheidewand parallel ist; diese horizontalen Arme sind bis auf das Ende, welches, etwas abwärts gebogen, in das Quecksilber eintaucht, mit Wachs überzogen. Bringt man nun die beiden Poldrähte einer galvanischen Kette in die Verlängerung der horizontalen Arme dieses Drahtes, so weicht der ganze Draht von den Poldrähten zurück, was anzudeuten scheint, daß der Theil des Stromes, welcher den horizontalen Arm durchströmt, von demjenigen Theile abgestoßen wird, welcher durch das Quecksilber geht. Dieser Schluß ist aber nicht ganz streng, weil man die Art und Weise noch nicht kennt, wie ein Strom aus einer Flüssigkeit in einen festen Körper übergeht; es würde z. B. schon hinreichen, daß ein Theil des Stromes sich schräg gegen den Draht bewegte, um eine Abstoßung hervorzubringen.

Fig. 295.



Ferner muß noch angeführt werden, daß dieser Versuch keineswegs zu den leicht gelingenden gerechnet werden kann.

Wenn nun aber auch der experimentelle Beweis dieses letzteren Satzes allerdings noch zweifelhaft ist, so ist doch die Wahrheit, daß zwei gleichgerichtete

Stromtheilchen A und B, Fig. 296, welche mit der Richtung ihrer Verbindungslinie zusammenfallen, eine abstoßende Wirkung auf einander ausüben, nicht in Zweifel zu ziehen, indem sie sich als nothwendige Folge der übrigen Gesetze ergiebt, nach welchen zwei Ströme auf einander wirken.

Fig. 296.

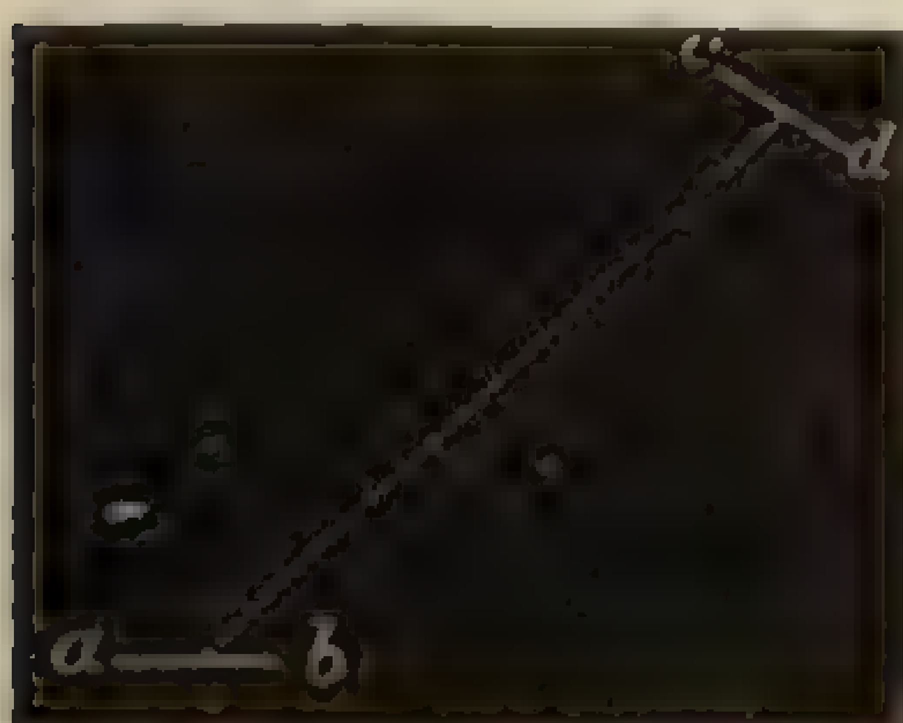


Wir haben die gegenseitige Wirkung zweier Ströme nur in einigen speciellen Fällen kennen gelernt. Ampère hat nun ein Gesetz aufgestellt, nach welchem sich für alle gegenseitigen Lagen die Einwirkung zweier Stromtheilchen berechnen läßt. Dieses Gesetz, nach welchem die Theilchen ab und cd, Fig. 297, zweier Stromleiter aufeinander wirken, ist nach Ampère durch die Gleichung

$$R = \frac{i i'}{r^2} (cos.\, \varepsilon - {}^3/_2\, cos.\, \Theta\, cos.\, \Theta')\, s s'$$

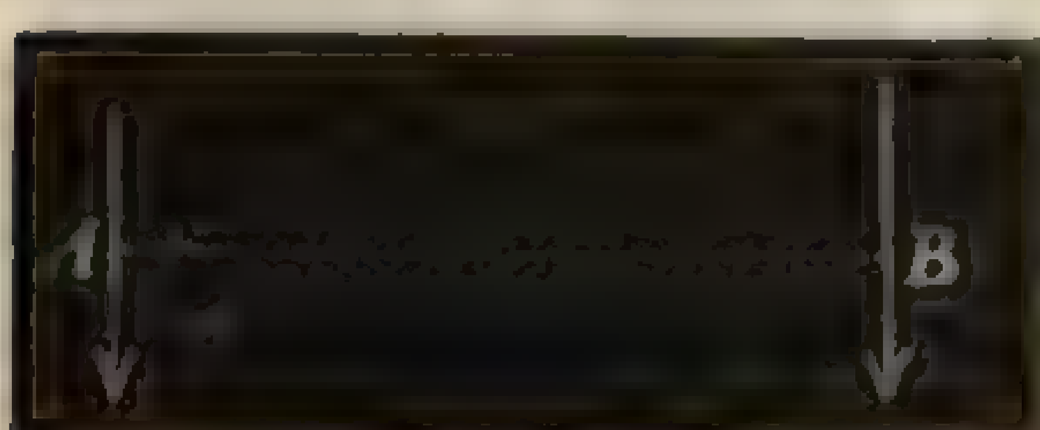
ausgedrückt, d. h. diese Gleichung drückt die Größe der Kraft aus, mit welcher die beiden Stromelemente (die jedoch nicht in einer Ebene zu liegen brauchen) auf einander in der Richtung derjenigen Linie wirken, welche ihre Mittelpunkte verbindet, vorausgesetzt, daß r die Entfernung dieser Mittelpunkte, i die Stromstärke in dem einen, i' die im anderen Stromelemente, s aber die Länge des einen, s' die des anderen Stromelementes bezeichnet. Es ist ferner ε der Winkel, welchen cd mit ab macht; Θ ist der Winkel, welchen das eine, Θ' der Winkel, welchen das andere Stromelement mit ihrer Verbindungslinie macht.

Fig. 297.



Für zwei parallele Stromtheilchen A und B, Fig. 298, welche bei gleicher Richtung rechtwinklig auf ihrer Verbindungslinie stehen, ist $\varepsilon = 0$, Θ und $\Theta' = 90^0$, es wird also:

Fig. 298.



$$R = \frac{i i'}{r^2} \,.\, s s.$$

Die Gleichung zeigt also in diesem Falle eine Anziehung an, wie sie auch der Versuch nachgewiesen hat. Da $cos.\, 180^0 = -1$, so wird der Werth von R negativ, wenn die beiden parallelen Ströme entgegengesetzte Richtung haben, also wenn $\varepsilon = 180^0$ ist. Für den Fig. 296 dargestellten Fall ist $\varepsilon = 0$, $\Theta = \Theta' = 0$, der Werth von R reducirt sich also auf

$$R = -\, {}^1/_2\, \frac{i i'}{r^2}\, s s'.$$

Die Ampère'sche Gleichung zeigt also für diesen Fall eine Abstoßung an; kurz wir sehen, daß das Ampère'sche Gesetz wirklich alle speciellen Fälle der gegenseitigen Einwirkung zweier Stromtheilchen umfaßt, die wir oben kennen gelernt haben.

Man kann sich die Wirkung, welche irgend zwei Stromelemente nach dem Ampère'schen Gesetz auf einander ausüben, dadurch versinnlichen, daß man

sich jedes derselben durch ein kleines Magnetstäbchen ersetzt denkt, welches rechtwinklig auf der Stromrichtung steht und welches seinen Nordpol links, seinen Südpol rechts von derselben liegen hat. Diese beiden Magnetstäbchen, die man sich außerdem in der Ebene liegend denken muß, welche man durch die Verbindungslinie der beiden Stromelemente und die Richtung der einen gelegt denken kann, werden dieselbe anziehende oder abstoßende Wirkung auf einander ausüben, wie die Stromelemente, statt deren sie gesetzt wurden. Auf diese Weise übersieht man z. B. leicht, daß in dem Fall Fig. 299 Anziehung der Stromelemente stattfinden muß, Abstoßung aber für die in Fig. 300 und Fig. 301 dargestellten Fälle.

Fig. 299.



Fig. 300.

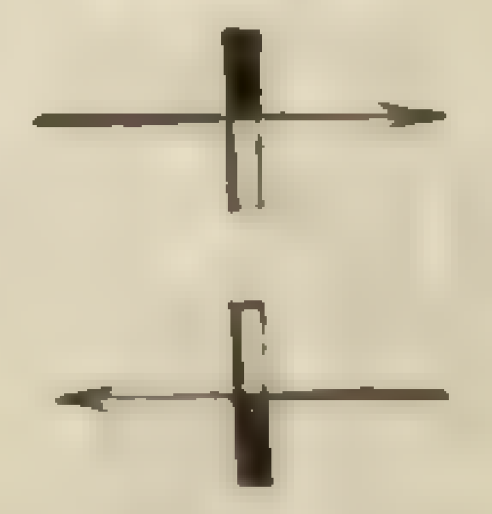
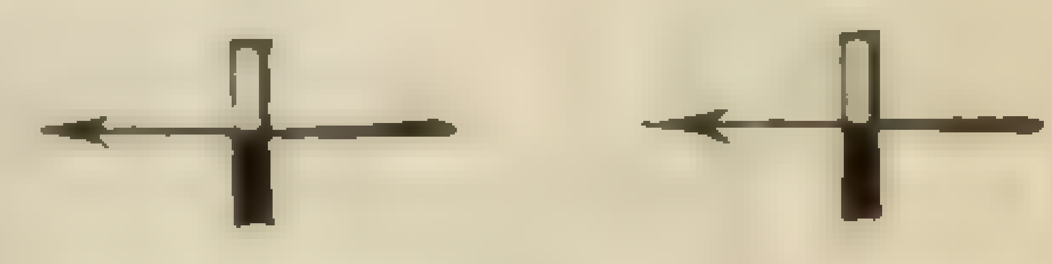


Fig. 301.



Die experimentelle Bestätigung der Ampère'schen Theorie ist allerdings etwas mangelhaft, vorzugsweise ist in's Auge zu fassen, daß sich jenes Gesetz auf die Wirkung zweier Stromelemente bezieht, wir aber unsere Versuche nur mit geschlossenen Strömen anstellen können, so daß wir die Wirkung zweier Stromtheile auf einander nie ganz rein, wenn auch in günstigen Fällen entschieden überwiegend, darzustellen im Stande sind. Ampère selbst hat seine Theorie aus verhältnißmäßig mangelhaften Versuchen abgeleitet; alle seine Versuche sind qualitativer, nicht quantitativer Natur. Für eigentliche Messungen waren seine Apparate freilich nicht brauchbar.

Weber hat nun diese Lücke ausgefüllt. Zunächst hat er nicht die Wirkung einzelner Stromelemente auf einander untersucht, sondern er hat berechnet, welches nach der Ampère'schen Theorie die Gesammtwirkung zweier durchströmten Drahtrollen auf einander seyn müsse, und hat dann dieses Resultat der Theorie durch messende Versuche geprüft.

Bei der Ampère'schen Aufhängung ist die Reibung, welche der bewegliche Stromleiter bei seiner Drehung zu überwinden hat, sehr bedeutend, ein Umstand, welchen die messende Bestimmung der hier wirkenden Kräfte unmöglich macht. Weber hat diese Schwierigkeit dadurch umgangen, daß er eine Drahtrolle bifilar aufhing und die beiden Aufhängungsdrähte als Zuleitung für den galvanischen Strom benutzte.

Eine der einfacheren Formen einer solchen Bifilarrolle sieht man in Fig. 302 abgebildet. Die Bifilarrolle *a* besteht aus einem dünnen Messingringe von 100^{mm} Durchmesser und 30^{mm} Breite, welcher zwei parallele Messingscheiben von 123^{mm} äußerem und 100^{mm} innerem Durchmesser verbindet, und in 30^{mm} Abstand von einander hält. Auf jenem Messingringe zwischen den beiden Scheiben ist ein Kupferdraht von $1/3^{mm}$ Durchmesser, der mit Seide übersponnen ist, ungefähr 3000mal herumgewunden, so daß er den Zwischen-

raum zwischen beiden Scheiben ganz ausfüllt. Nach Aufwindung des Drahtes wurden die beiden Messingscheiben durch eine messingene Klemme *b* verbunden, welche in ihrer Mitte den Torsionskreis *c* trägt. Die obere Scheibe des

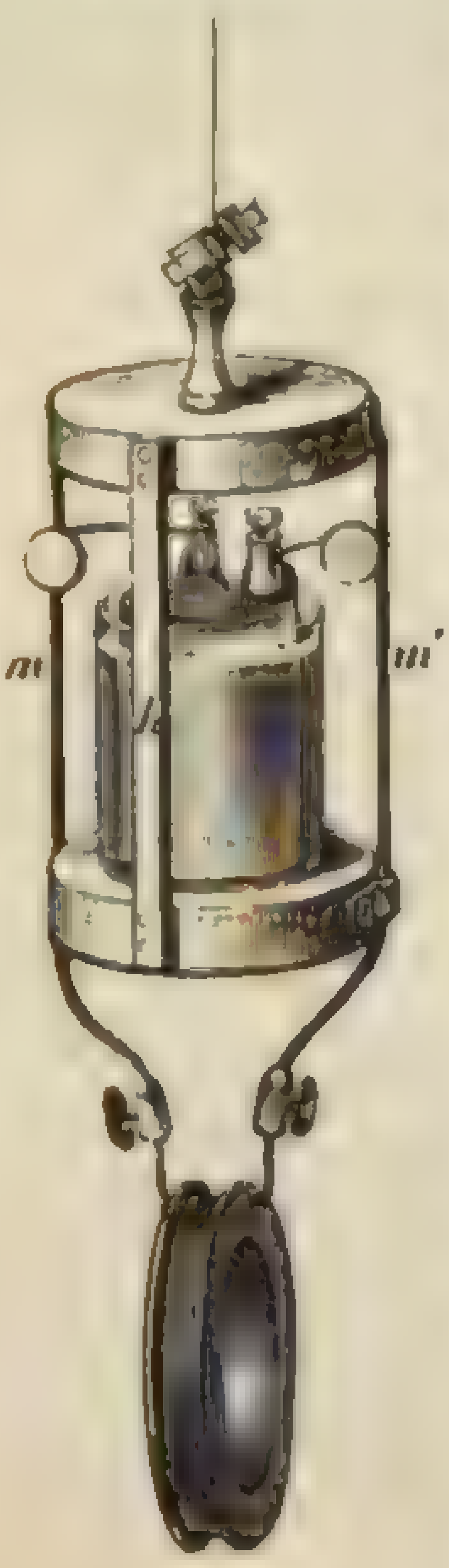
Fig. 302.



Torsionskreises trägt einen hölzernen Zapfen, welcher am oberen Ende eine Gabel mit einer sehr beweglichen 20mm Durchmesser haltenden Rolle trägt. Unter dieser Rolle ist ein seidener Faden weggeführt, welcher zu beiden Seiten der Rolle senkrecht nach oben geht und auf beiden Seiten, etwas über der Rolle an den beiden Suspensionsdrähten *g g* angeknüpft ist. Mit den beiden Enden der Suspensionsdrähte sind nun noch die beiden Drahtenden der Rolle in Verbindung gebracht, so daß der galvanische Strom, in einem Aufhängedraht heruntersteigend, in die Drahtrolle übergeht und, nachdem er ihre Windungen durchlaufen hat, im anderen Suspensionsdraht aufsteigend zurückkehrt. Die beiden Suspensionsdrähte sind an zwei an der Decke befindlichen isolirten Haken befestigt, durch welche die Zuleitung des Stromes stattfindet. Die Aufhängedrähte sind von Kupfer und bei 1 Meter Länge $^1/_6$mm dick.

Bei den Weber'schen Versuchen wurde die Achse der Bifilarrolle in den magnetischen Meridian gebracht, so also, daß ihre Ebene rechtwinklig auf demselben stand. An dem Holzzapfen ist ein Spiegel befestigt, so daß man die Ablenkung der Rolle aus dieser Gleichgewichtslage mit einem Fernrohr auf die bekannte Weise ablesen kann.

Fig. 303.



Der Benennung eines aufgehängten Magnetstabes (Magnetometer) entsprechend, nennt Weber eine durch ihre Aufhängung leicht bewegliche, den Strom leitende Drahtrolle ein Dynamometer. Das eben beschriebene ist ein Bifilar-Dynamometer, die folgende in Figur 303 abgebildete Einrichtung dagegen entspricht dem gewöhnlichen Magnetometer. Das Wesentliche derselben besteht darin, daß der kreisförmig gewundene Leiter sammt dem Elektromotor, von welchem der Strom ausgeht, an einem Faden oder Drahte aufgehangen wird. Ein kleiner Grove'scher Becher steht zwischen zwei Holzplatten, welche durch zwei Messingstäbchen *mm'* und einem Holzstab *h* mit einander verbunden sind; die dem Stab *h* gegenüber liegende Seite bleibt frei, damit man den Becher bequem einstellen kann. In eine Verstärkung der Stäbchen *m* und *m'* sind die zum positiven und negativen Pol führenden Drahtstücke eingeschraubt. Die Verlängerungen von *m* und *m'* tragen die Drahtrolle.

Diese Vorrichtungen lassen sich gewiß durch geeignete Abänderungen auch in solche Formen bringen, die zwar weniger zu feinen Messungen geeignet sind, aber sehr gut zu Vorlesungsversuchen statt des Ampère'schen Apparates dienen können.

Wenn ein galvanischer Strom das Bifilar-Dynamometer durchläuft, so wird es aus seiner oben bezeichneten Gleichgewichtslage abgelenkt werden, sobald man ihm einen Magnetstab oder auch eine zweite galvanisch durchströmte Drahtrolle nähert.

Die feste Drahtrolle, durch welche Weber auf die Bifilarrolle einwirkte, ist gleichfalls in Fig. 302 abgebildet. Sie besteht aus zwei dünnen parallelen Messingplatten von 89 Millimeter Durchmesser, welche von einer $5\frac{1}{2}$ Millimeter dicken messingenen Achse in 30^{mm} Abstand von einander festgehalten werden; diese Achse ragt auf beiden Seiten um 10^{mm} vor. Auf dem zwischen den beiden Scheiben befindlichen Theil der Achse ist ein mit Seide übersponnener $\frac{1}{3}^{mm}$ dicker Kupferdraht ungefähr 1000mal herumgewunden, so daß er den Zwischenraum zwischen den beiden Scheiben ganz ausfüllt.

Zur festen Aufstellung dieser Rolle dient ein hölzernes Gestell, welches auf Füßen mit Stellschrauben steht. Der vordere Fuß dieses Gestelles kann mittelst eines Charnieres aufgeschlagen und dann die feste Rolle in die bewegliche eingeschoben und so aufgestellt werden, daß die drei Stellschrauben auf die Punkte *r*, *s*, *t* der Tischplatte zu stehen kommen (*t* ist in der Figur verdeckt). Bei dieser Stellung fallen die Mittelpunkte der festen und der beweglichen Rolle zusammen. Man kann aber auch die feste Rolle nördlich (wie es in der Figur der Fall ist) oder südlich, östlich oder westlich aufstellen. Um die feste Rolle jederzeit leicht in bestimmten Entfernungen von der beweglichen aufstellen zu können, sind auf der Tischplatte, wie es die Figur andeutet, eine Reihe von Punkten bezeichnet, auf welche man nur die drei Stellschrauben zu setzen braucht, damit der Mittelpunkt der festen Rolle in den erwähnten Richtungen 300, 400, 500 oder 600 Millimeter weit von dem Mittelpunkte der beweglichen entfernt ist.

Eine erste Beobachtungsreihe wurde bei derjenigen Stellung der festen Rolle gemacht, für welche die Mittelpunkte beider Rollen zusammenfallen. Ein und derselbe Strom wurde durch die Bifilarrolle und dann durch die feste Rolle hindurch geleitet und die Stärke des Stromes durch die Ablenkung gemessen, welche die feste Rolle an einem nördlich oder südlich angebrachten Magnetometer bewirkt. Die Anordnung des Versuchs ist aus Fig. 304 ersichtlich. *b b* ist die Bifilarrolle, *f f* die feste Rolle und *m* das Magnetometer, während bei *u* und *v* Fernröhre mit Scalen zur Beobachtung der Drehung von *b* und *m* aufgestellt sind.

Fig. 304.



Wenn der Strom von 1 bis 3 Grove'schen Bechern gleichzeitig durch beide Rollen geht, so wird die Ablenkung der Bifilarrolle so groß, daß sie weit über die Gränzen der Beobachtungsscala hinausgeht, während der Strom der festen Rolle an dem Magnetometer eine für die Messung ganz geeignete Ablenkung hervorbringt. Um diesem Uebelstande abzuhelfen, brachte Weber an den Zuleitungsdrähten für die Bifilarrolle eine Nebenschließung an, durch welche die Stromstärke in der Bifilarrolle im Verhältniß von 246,26 zu 1 vermindert wurde, während der Strom in der festen Rolle unverändert blieb. Freilich ist jetzt die Stromstärke in beiden Rollen nicht mehr dieselbe, die Stromstärke der einen steht aber in einem constanten Verhältniß zu der in der anderen.

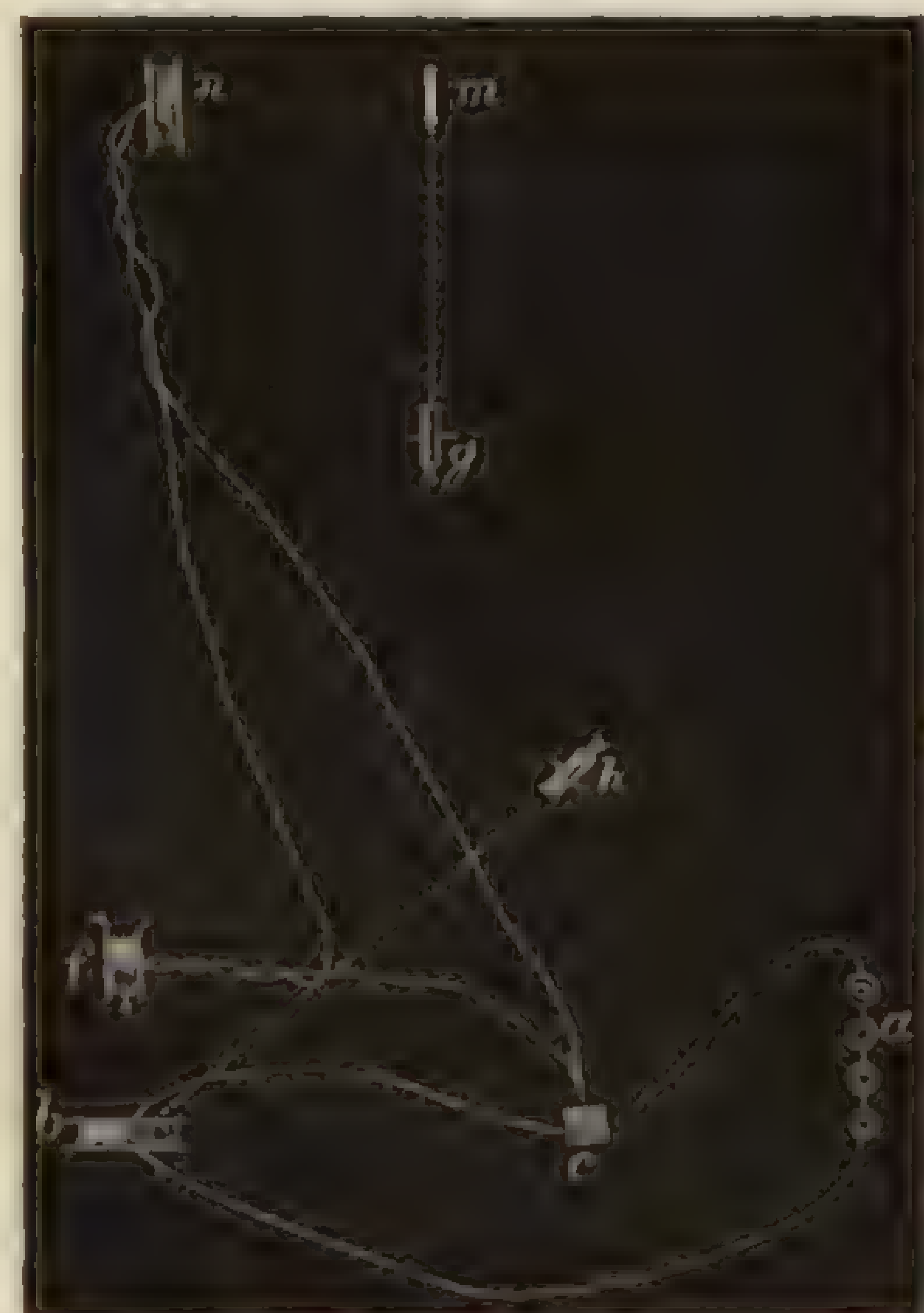
Diese Versuche ergaben das Resultat, daß die elektrodynamische Kraft, mit welcher zwei Leitungsdrähte auf einander wirken, durch welche Ströme von gleicher Intensität gehen, dem Quadrate dieser Intensität proportional ist, wie es in dem Grundprincip der Elektrodynamik vorausgesetzt ist.

Hierauf folgte nun eine größere Versuchsreihe, um zu erforschen, auf welche Weise die elektrodynamische Kraft, mit welcher die beiden Rollen auf einander wirken, von ihrer gegenseitigen Lage und Entfernung abhängt.

Zu diesem Zweck wurde die feste Rolle der Reihe nach nördlich, östlich, südlich und westlich von der Bifilarrolle aufgestellt, wie dies schon oben auseinandergesetzt worden ist. Dieses System der Anordnung verschiedener Lagen und Entfernungen der beiden Drahtrollen entspricht, wie man leicht sieht, genau dem System der Anordnung verschiedener Lagen und Entfernungen der beiden Magnete, welche Gauß seinen Messungen zu Grunde gelegt hat, um das Grundprincip des Magnetismus zu erweisen. Der bifilar aufgehangene Ring vertritt hierbei die Stelle des Magnetometers oder der Magnetnadel, die feste Rolle die Stelle des Ablenkungsstabes.

Gleichzeitig mit den Ablenkungen des Dynamometers muß aber auch die Stromstärke gemessen werden. Auf die bei der vorigen Versuchsreihe angewandte Weise kann dies hier nicht geschehen, weil die Stellung der festen Rolle verändert wird; es wurde deshalb der Strom auch noch durch eine dritte unveränderlich fest stehende Drahtrolle geführt und die Ablenkung gemessen, welche diese an einem Magnetometer bewirkt. Die ganze Anordnung ist aus Fig. 305 zu ersehen.

Fig. 305.



b ist die Bifilarrolle, *f* die feste Rolle, *m* ein Magnetometer, welches 8 Meter weit von *b* entfernt ist, *n* eine dritte, gleichfalls fest aufgestellte Rolle von 618 Windungen, welche von einem Strom durchlaufen auf das Magnetometer wirkt. Der Strom geht von dem einen Pole der galvanischen Säule *a* zur Bifilarrolle, von dieser zum Commutator *c*, dann über die Rolle *f* zur Rolle *n*, von dieser zurück zum Commutator und von diesem endlich zum anderen Pol der Säule.

Durch den Commutator kann also die Stromrichtung in *f* und *n* geändert werden, während sie in der Bifilarrolle *b* stets dieselbe bleibt.

Es wurde nun bei jeder gegenseitigen Lage und Entfernung der beiden Drahtrollen *f* und *b* die Stellung von *m* und *b* für die eine Stromrichtung ermittelt, dann der Strom in *f* und *n* mittelst des Commutators umgekehrt und nochmals die Stellung von *b* und *m* abgelesen. Die Differenz der beiden Ab-

lenkungen am Dynamometer geben ein Maaß für die Kraft, mit welcher die beiden Drahtrollen *b* und *f* auf einander wirken.

Da wir nun wissen, daß die elektrodynamische Wirkung der beiden Drahtrollen auf einander dem Quadrat der Stromstärke proportional sind, so ist man, vermöge der am Magnetometer gemachten Messungen der Stromstärke, im Stande, die gemessenen Ablenkungen der Bifilarrolle auf gleiche Stromstärke zu reduciren.

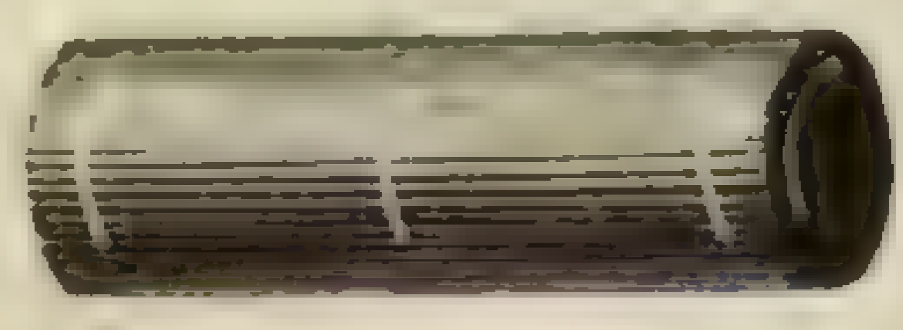
Diese Versuche ergaben nun das wichtige Resultat, daß für die elektrodynamischen Wirkungen, welche diese beiden Drahtrollen in der Ferne auf einander ausüben, wirklich dieselben Gesetze gelten, wie für die gegenseitige Wirkung zweier Magnete, wie sich dies auch aus dem Ampère'schen Gesetze ergiebt.

Ampère's Theorie des Magnetismus. Das Princip dieser Theorie 109
besteht darin, jedes Molekül eines Magneten als von einem in sich selbst zurückkehrenden Strom umkreist zu denken, den man der Einfachheit wegen als kreisförmig annehmen kann. Man stellt sich also nach dieser Theorie jeden auf der Achse des Magneten rechtwinkligen Querschnitt ungefähr auf die durch Fig. 306

Fig. 306.

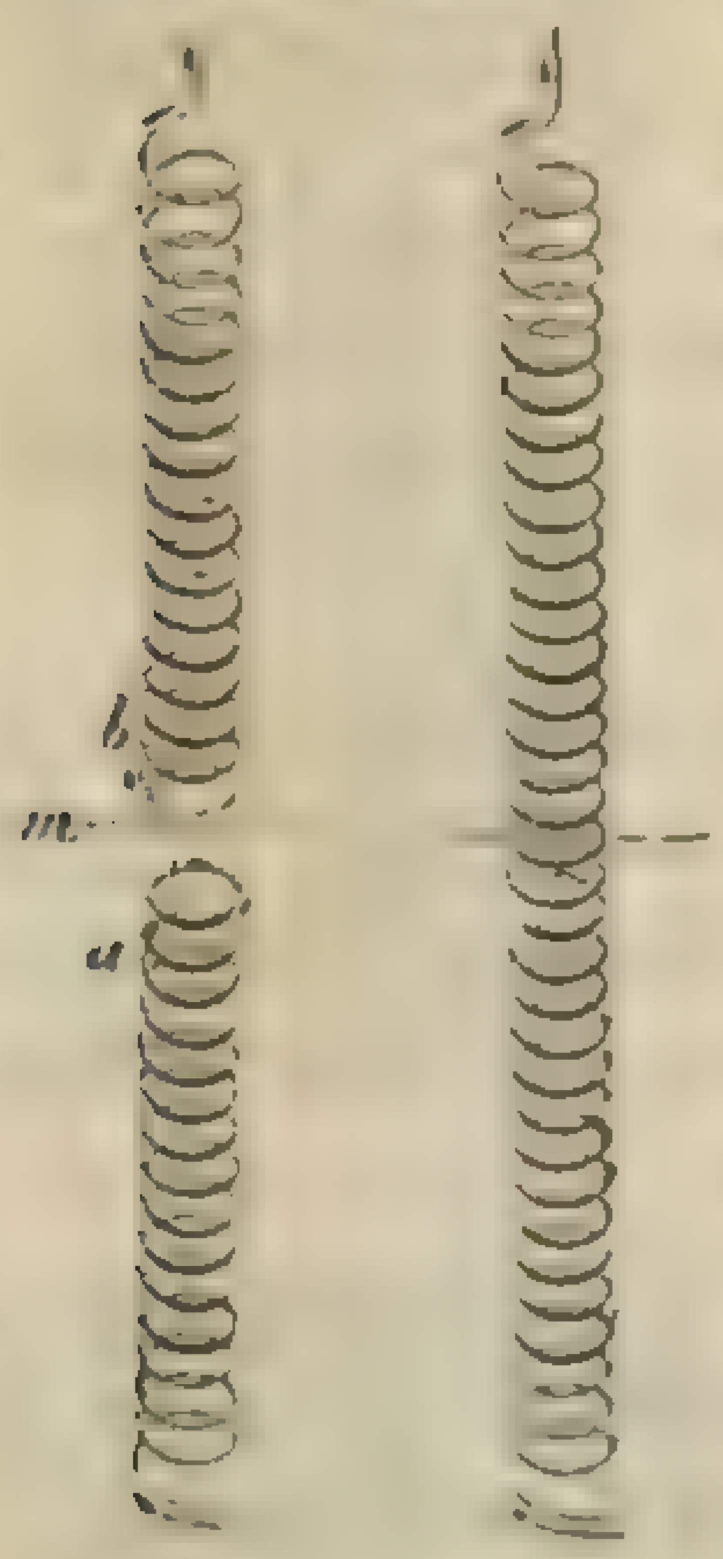


Fig. 307.



anschaulich gemachte Weise vor. Statt aller der elementaren Ströme eines jeden Querschnittes aber kann man sich denselben von von einem einzigen Strome umkreist denken, welcher gleichsam die Resultirende aller elementaren Ströme dieses Querschnitts ist, und somit läßt sich ein Magnetstab als ein System unter sich paralleler geschlossener Ströme denken, ungefähr so, wie es Fig. 307 anschaulich macht.

Fig. 308.



Was hier von einem Magnetstabe gesagt ist, läßt sich auch auf eine Magnetnadel, kurz auf jeden Magneten, welche Form er auch haben mag, anwenden.

Denken wir uns einen Schraubendraht, welcher sich von *m*, Fig. 308, aus nach beiden Seiten hin erstreckt, und welchen der Strom in der Richtung der Pfeile durchläuft; denken wir uns denselben ferner bei *m* durchgeschnitten und von einander entfernt, so folgt aus unserer Definition, daß bei *a* ein Südpol und bei *b* ein Nordpol ist; denn wenn man sich dem Pol bei *a* zuwendet, so hat man den aufsteigenden Strom zur

Linken; wendet man sich aber dem Pol b zu, so hat man ihn zur Rechten.

Schneidet man also einen Schraubendraht rechtwinklig zu seiner Achse durch, so entstehen zwei ungleichnamige Pole, gerade so, wie wenn man einen Magneten durchbricht.

Ferner ist klar, daß sich die ungleichnamigen Pole a und b anziehen, denn wenn wir die Endkreise betrachten, so sieht man schon, daß hier die Ströme parallel und gleich gerichtet sind, ebenso ist es aber mit allen anderen.

Um die Erklärung der Anziehung und Abstoßung der Pole in verschiedenen Stellungen der Magnete gegen einander recht anschaulich zu machen, zeichnet man am besten auf Cylinder von Holz oder Pappe, die ungefähr 1 bis 1,5 Fuß lang sind und 2 bis 3 Zoll im Durchmesser haben, Pfeile in der Weise, wie man Fig. 309 sieht, welche die Richtung der Ströme darstellen; ferner bezeichne man noch auf beiden Cylindern die gleichnamigen Pole auf dieselbe Weise, etwa die Nordpole mit N, die Südpole mit S. Mit Hülfe zweier solcher Modelle läßt sich leicht begreiflich machen, warum gleichnamige Pole sich immer abstoßen, ungleichnamige immer anziehen, in welcher Weise sie man auch übrigens einander nähern mag.

Fig. 309.



Nach dieser Theorie muß man also annehmen, daß die Eisentheilchen beständig von den erwähnten Elementarströmen umkreist werden, die auf ihrem Wege um das Eisenmolekül keinen Leitungswiderstand zu überwinden haben, denn sonst könnten sie ohne fortwirkende elektromotorische Kraft nicht continuirlich seyn. In einem Stahlmagneten sind nur diese Elementarströme einander parallel, im weichen Eisen aber haben sie alle möglichen verschiedenen Lagen. Die Magnetisirung des weichen Eisens besteht nun nach dieser Theorie nur darin, daß die schon vorhandenen Elementarströme parallel gerichtet werden; die Gränze der Magnetisirung ist erreicht, wenn die Ströme aller Eisenmoleküle die gleiche Lage haben. Hört die magnetisirende Kraft zu wirken auf, so kehren die Ströme wieder in ihre vorherige regellose gegenseitige Lage zurück; nur im Stahl behalten sie wenigstens theilweise ihren Parallelismus bei, und darauf beruht das Bleiben des Magnetismus des Stahls.

Ein elektrodynamischer Schraubendraht ist aber doch noch wesentlich von einem Magneten verschieden. Während ein Magnet an seinen Enden am kräftigsten wirkt, findet sich beim Schraubendraht das Maximum der Wirkung in der Mitte. Poggendorff hat dies durch einen einfachen Versuch anschaulich gemacht.
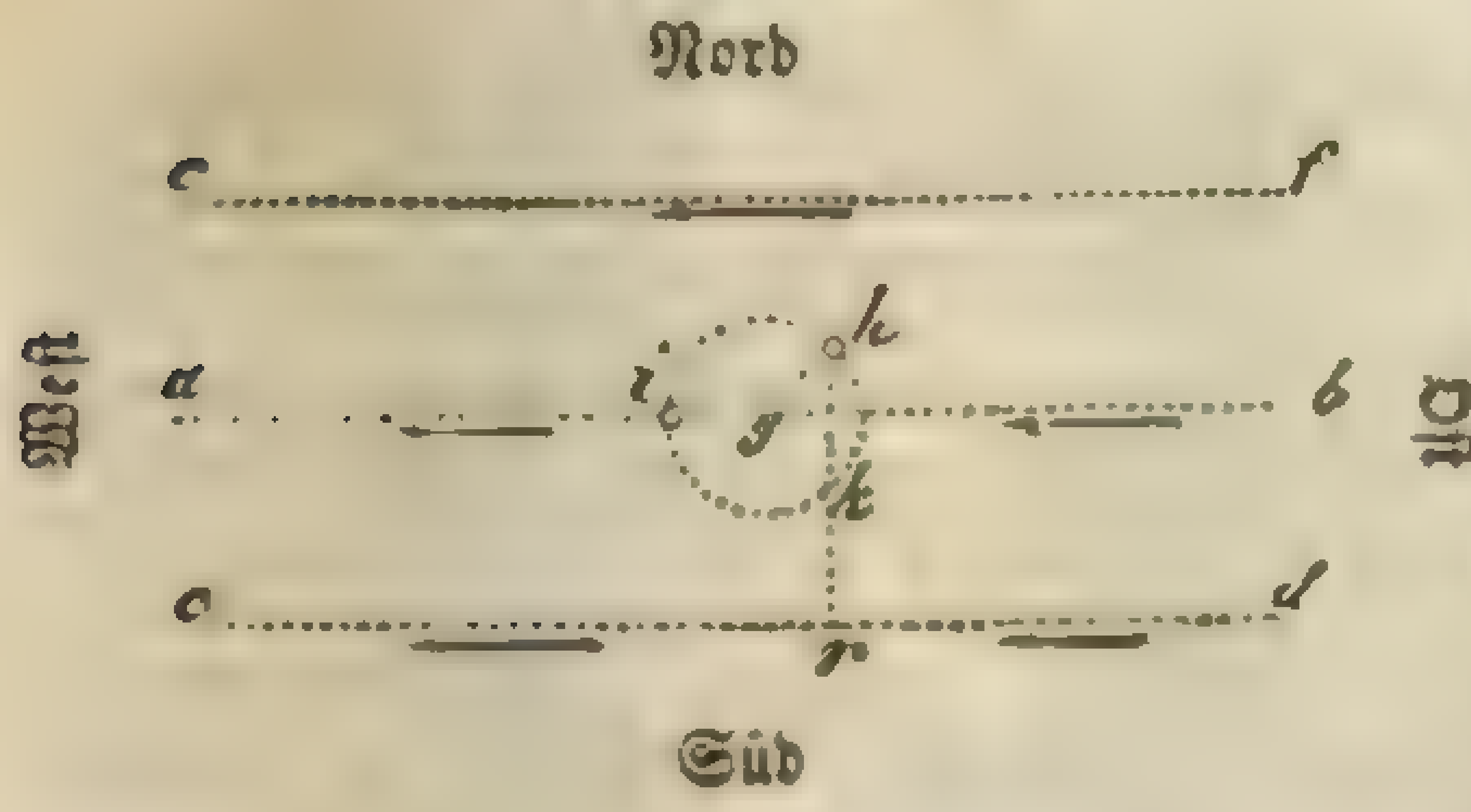
Man verschaffe sich einen hohlen Magnetstab, etwa 3 Zoll lang und inwendig 2,5 Linien weit; füttere ihn mit einer Glasröhre aus und halte ihn enkrecht, z. B. mit dem Nordpol nach oben. Nun schiebe man vorsichtig eine

leichte magnetische Nähnadel von etwa 9 Linien Länge mit ihrem Südpol von oben hinein. Sie wird nicht durchfallen, sondern zum Theil noch aus dem Magnet hervorragend oben schweben. Man kann sie sogar eine Strecke hinunterdrücken, und sie steigt nach Aufhebung des Druckes wieder in die Höhe. Bei einem Schraubendraht aber begiebt sich die Nadel sogleich in die Mitte und bleibt dort schweben, wenn der Strom stark genug ist.

Nach unserer Hypothese müssen wir uns auch die Erdoberfläche von Strömen umkreist denken, die mit dem magnetischen Aequator parallel sind. An jedem einzelnen Orte aber kann man sich vorstellen, daß die Wirkung aller dieser Ströme sich auf die eines einzigen hypothetischen Stromes reducirt, dem man nur eine entsprechende Intensität und Lage zutheilen muß, damit er wirklich den Totaleffect aller übrigen repräsentiren kann. Wir wollen diesen gedachten Strom den **mittleren Erdstrom** nennen. Auf dem magnetischen Aequator liegt dieser Strom in einer vertikalen Ebene, an allen anderen Orten aber ist er mehr oder weniger geneigt; wir werden sogleich sehen, wie man seine Lage und Richtung bestimmen kann.

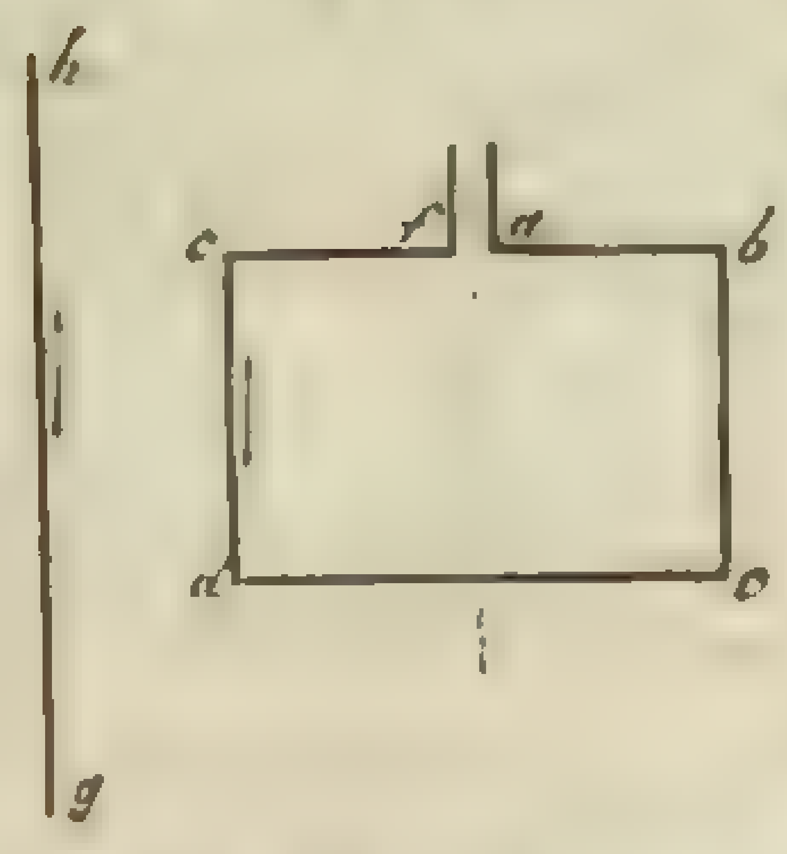
Es ist leicht zu zeigen, **daß der mittlere Erdstrom von Osten nach Westen geht.** In der That muß an jedem Orte der wirksamste Theil dieses Erdstromes im Wesentlichen wagerecht seyn. Nun haben wir aber oben §. 107 gesehen, daß ein vertikaler beweglicher Strom unter der Einwirkung der Erde sich immer rechtwinklig auf den magnetischen Meridian stellt, daß er auf der **Ostseite** stehen bleibt, wenn er **herabströmt**, auf der **Westseite**, wenn er **aufsteigt**. Der Erdstrom steht also auch rechtwinklig auf der Ebene des magnetischen Meridians und geht von Osten nach Westen. Dieser Versuch aber, welcher so leicht die Richtung des Stromes bestimmt, entscheidet nichts über seine Lage, denn er könnte nördlich oder südlich vom Beobachtungsort vorübergehen und würde doch dieselbe Wirkung auf den vertikalen Strom hervorbringen, wie man in Fig. 310 sehen kann. Der vertikale Strom, den wir aufsteigend annehmen wollen, erscheint in unserer Figur zum Punkt verkürzt in *h*, ebenso die Umdrehungsachse *g*. Wäre nun der Erdstrom südlich in *cd*, so würde das Stromstück *rd* den vertikal aufsteigenden Strom in *h* abstoßen, während es von dem Stromstück *rc* angezogen wird; der Strom *h* wird also, nach Westen hingetrieben, einen Kreis beschreiben und in *i* zur Ruhe kommen. Denselben Effect würde aber auch ein nördlich vom Beobachtungsort sich bewegender Strom *fe* hervorbringen.

Fig. 310.



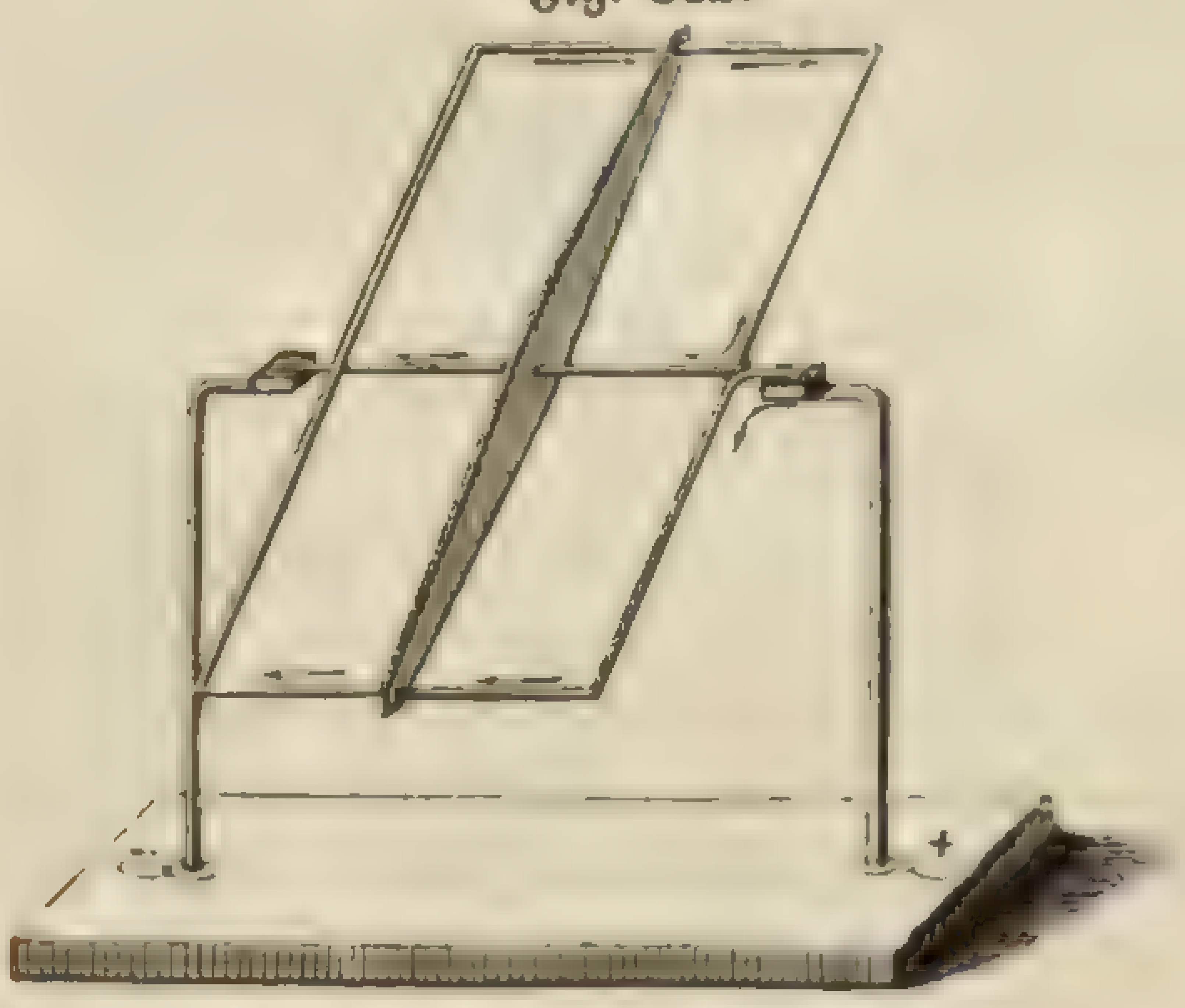
Für jeden Ort befindet sich der Erdstrom in einer auf der Inclinationsnadel rechtwinkligen Ebene.

Fig. 311.



Um dies zu beweisen, muß man sich erinnern, daß, wenn ein rechtwinkliger Strom *abcdef* vollkommen frei um seine Rotationsachse drehbar ist und durch einen Strom *gh* afficirt wird, der mit der Umdrehungsachse des Rechtecks parallel ist, daß alsdann ein stabiles Gleichgewicht stattfindet: 1) wenn die Ebene des Rechtecks mit der des Stromes und der Achse zusammenfällt, 2) wenn der Strom der Seite des Rechtecks, welche dem richtenden Strome zunächst liegt, mit diesem gleiche Richtung hat. Da dies, ganz unabhängig von der Lage der Achse, wahr ist, so läßt er sich auch auf einen horizontalen Strom und ein um eine horizontale Achse drehbares Rechteck anwenden. Wenn man also den Apparat, Fig. 312, so stellt, daß die horizontale Umdrehungsachse mit dem Erdstrom parallel ist, d. h. also, wenn sie rechtwinklig auf dem magnetischen Meridian steht, so ist klar, daß die Ebene, in welcher sich nun der rechteckige Strom in's Gleichgewicht stellt, auch die Ebene ist, in welcher der Erdstrom liegen muß. Macht man den Versuch, so findet man, daß sich das Rechteck rechtwinklig auf die Richtung der Inclinationsnadel stellt.

Fig. 312.



110 **Rotation eines beweglichen Stromes um einen Magneten.** Es sey *abcd*, Fig. 313, der horizontale Durchschnitt eines vertikal stehenden Magneten, *s* ein zum Punkt verkürzt erscheinender vertikaler Strom, den wir aufsteigend annehmen wollen und welcher um die vertikale Achse *n* drehbar ist, so ist nach den §. 108 auseinandergesetzten Principien klar, daß das Stück *ab* des Magnetenstromes den Strom *s* abstoßen, *bc* aber ihn anziehen wird, der Strom *s* muß also in der Richtung des Stromes im Magneten rotiren. Wäre der Strom *s* niedergehend, so würde die Richtung der Rotation die entgegengesetzte werden; ebenso wird natürlich die Umkehrung der Rotationsrichtung durch eine Umkehrung der magnetischen Pole bewirkt.

Fig. 313.



Eine solche Rotation kann mit Hülfe des Apparates, Fig. 314, hervorgebracht werden. An einem vertikalen Stabe *l* ist ein horizontaler Stab *a* verschiebbar, so daß man ihn in jeder beliebigen Höhe und in jeder Richtung mit Hülfe einer Schraube feststellen kann. Dieser horizontale Stab trägt einen Messingring, auf welchem eine kreisförmige hölzerne, mit Quecksilber zu füllende Rinne aufgesetzt wird. In dem Messingringe steckt eine Korkscheibe, durch deren Mitte ein vertikaler Magnetstab hindurchgeht, an welchem oben eine Hülse mit einem Stahlnäpfchen angeschraubt ist. In diesem Stahlnäpfchen sitzt eine feine Spitze auf, welche einen kupfernen Bügel *b* trägt, der auf beiden Seiten heruntergebogen ist, so daß seine unteren mit einer Platinspitze versehenen Enden in die Quecksilberrinne eintauchen. In der Mitte dieses Kupfertiegels befindet sich ein Quecksilbernäpfchen *p*. Wird nun der eine Poldraht der Kette in dieses Quecksilbernäpfchen *p*, der andere aber in die Rinne getaucht, so durchläuft der Strom die beiden Arme des Kupferbügels, welcher alsbald zu rotiren beginnt.

Fig. 314.

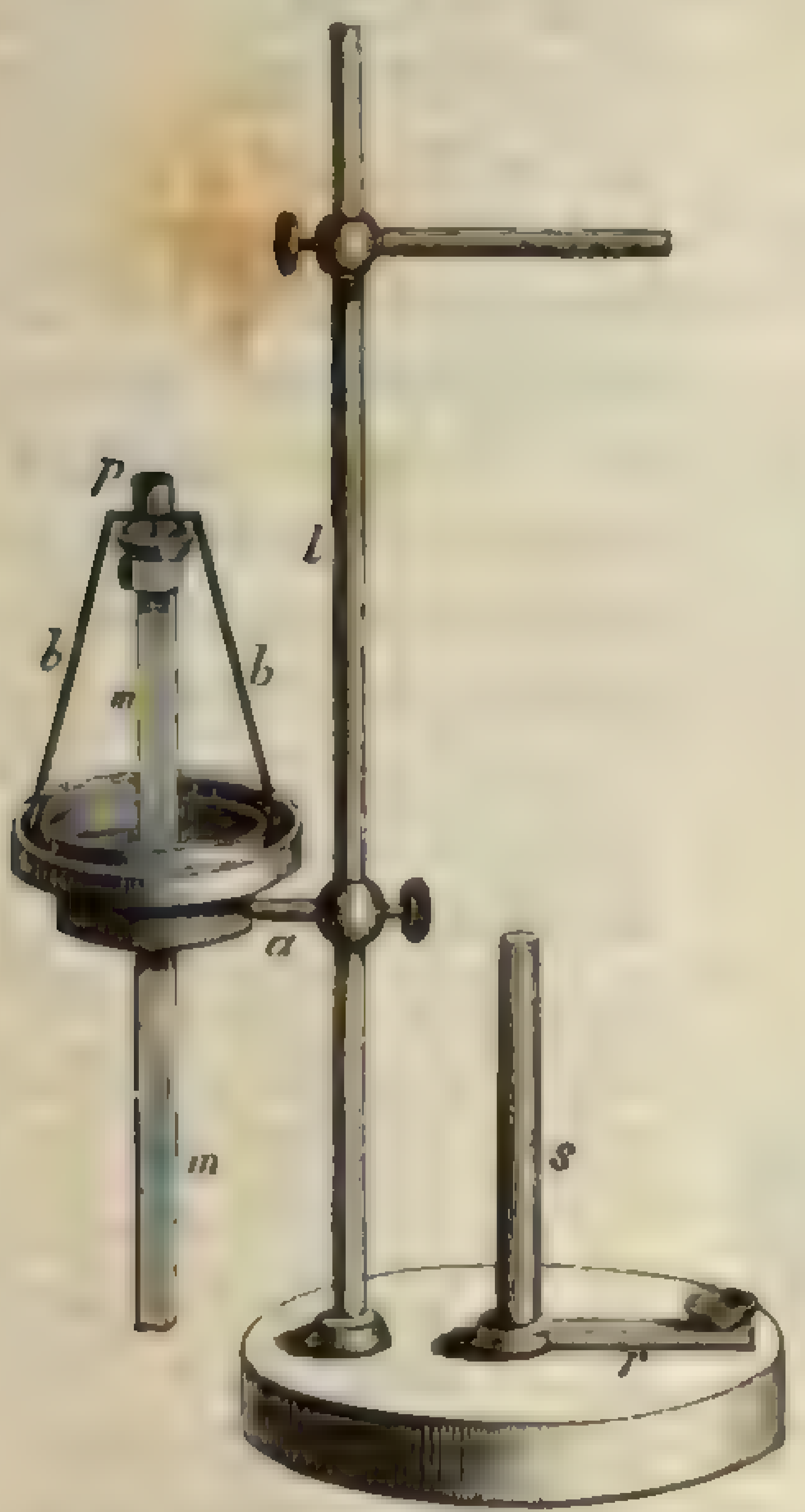
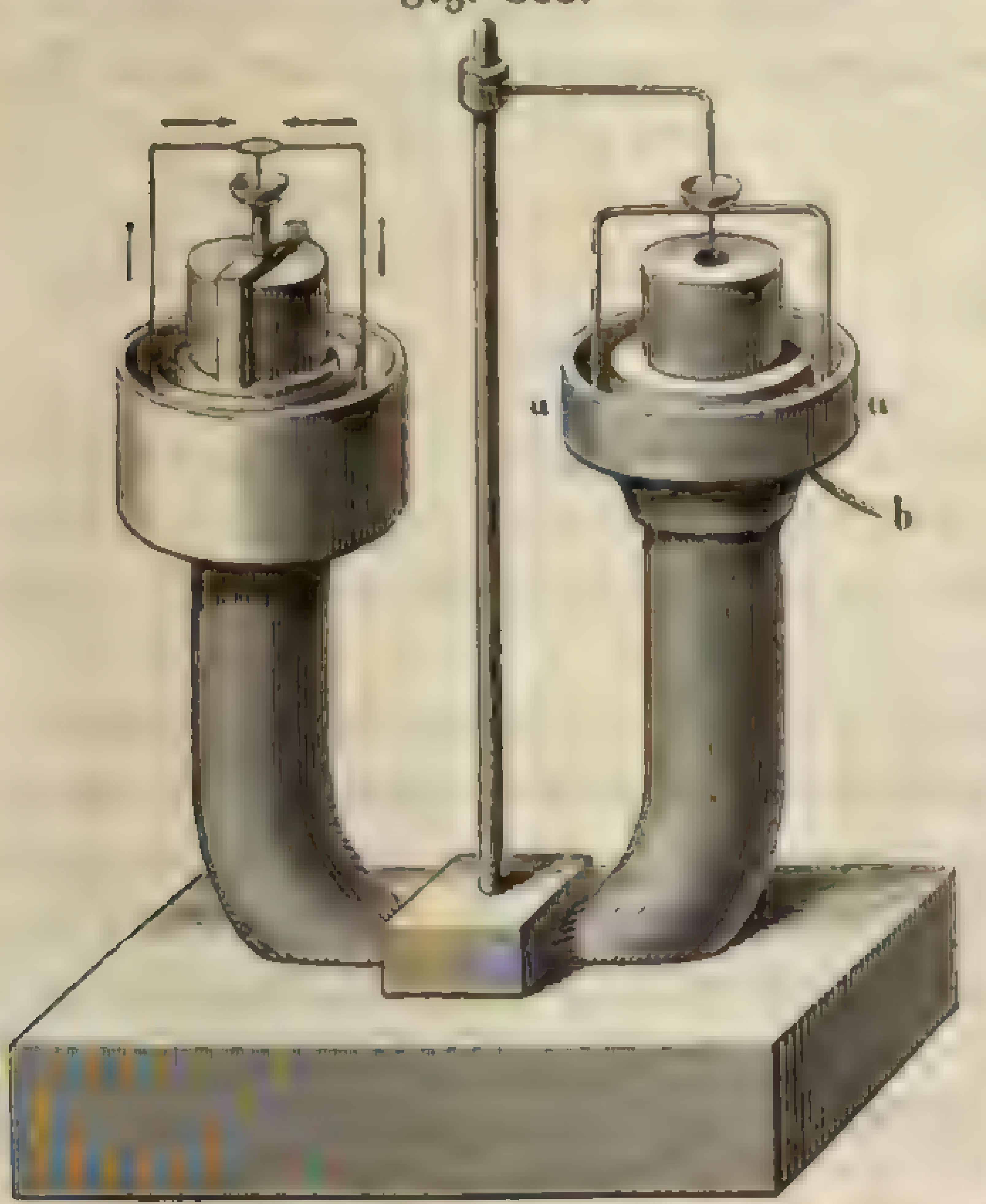


Fig. 315.

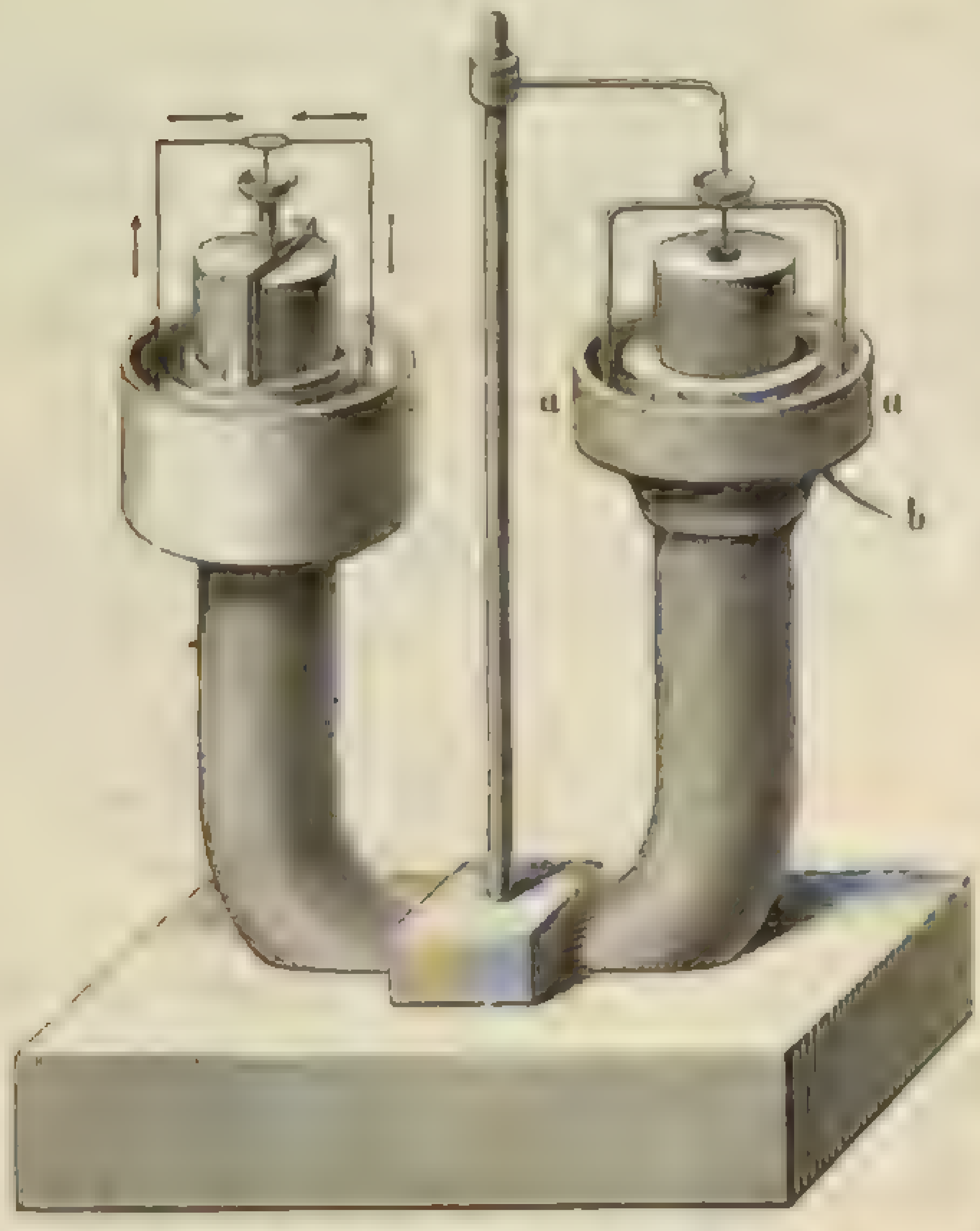


Die Wirkung des Magneten auf den Strom in dem einen Arme des Kupferbügels wird durch die Wirkung unterstützt, welche der Magnet auf den Strom im anderen Arme des Kupferbügels hervorbringt.

Fig. 315 zeigt zwei Abänderungen dieses Versuchs. Eine Hülse *a a* von Holz, ganz ähnlich der in der vorigen Figur, und in gleicher Weise mit einer Rinne zur Aufnahme von Quecksilber versehen, ist auf einem Pol eines starken Hufeisenmagneten befestigt. In einer kleinen

Vertiefung in der Mitte des Pols sitzt von einer Nadelspitze getragen ein Drahtbügel, dessen Enden in die Quecksilberrinne hinabhängen. In der Mitte ist dieser Drahtbügel mit einem Quecksilbernäpfchen versehen, in welches eine Drahtspitze eintaucht, die mit dem einen Pole des Rheomotors verbunden ist, während der von unten in das Quecksilber der Rinne hineinragende Draht b mit dem anderen Pole in leitender Verbindung steht.

Fig. 316.



Auf dem anderen Pole ist eine von Faraday angegebene Rotationsvorrichtung angebracht, welche selbst den Rheomotor bildet. Statt der hölzernen Rinne ist ein Gefäß von Zink über den Magnetpol geschoben, welches, durch zwei concentrische Cylinder- und eine Bodenfläche gebildet, mit verdünnter Schwefelsäure gefüllt wird. An der inneren Wand des Zinkgefäßes ist eine Zinkbügel befestigt, welcher auf der oberen Fläche des Magnetpoles aufsitzt. Auf der Mitte dieses Bügels steht ein Kupferstäbchen, welches oben mit einem Quecksilbernäpfchen endet; in dieses Quecksilbernäpfchen ist mittelst einer Stahlspitze ein Bügel von Kupferdraht eingesetzt, welcher unten einen Ring von dünnem Kupferblech trägt, der in das saure Wasser des Zinkgefäßes hineinhängt. Es geht nun der positive Strom vom Zinkgefäß durch die saure Flüssigkeit zum Kupferstreifen, von diesem durch die Kupferdrähte erst in die Höhe, dann horizontal fort zum Quecksilbernäpfchen; es muß also die Rotation nach dem angeführten Gesetze eintreten.

In den beiden letztgenannten Fällen ist es jedoch nicht allein die Einwirkung des Magneten auf den im Drahte aufwärts gehenden Strom, welcher die Rotation bewirkt, sondern diese rührt zum Theil auch von der Einwirkung des Magnetpols auf den horizontalen Theil des beweglichen Stromleiters her.

Humphry Davy hat die erste hierher gehörige Beobachtung gemacht; er entdeckte nämlich (1821) die Rotation des galvanischen Flammenbogens unter dem Einfluß eines Magnetpoles. Durch die Bewegung der erhitzten Luft wird der Lichtbogen bestimmt, stets eine nach oben gewölbte Biegung anzunehmen. Dieser Flammenbogen ist aber ein beweglicher Leiter, auf welchen der Erdmagnetismus eine richtende Kraft ausübt und so kommt es, daß bei horizontal gegenüberstehenden Kohlenspitzen der Flammenbogen nie ganz

vertikal steht, sondern, je nach der Lage der Kohlenspitzen, bald nach der einen, bald nach der anderen Seite geneigt ist. Durch die Annäherung eines Magnetstabes kann man den Flammenbogen aus seiner, durch den Erdmagnetismus bestimmten Stellung heraustreiben. Wird statt des einen Kohlenpoles ein Magnetpol angewendet, so daß der Flammenbogen sich zwischen Kohle und Stahl bildet, so rotirt der Flammenbogen um den magnetischen Stahlpol nach denselben Gesetzen, nach welchen überhaupt ein beweglicher Strom um einen festen Magneten rotirt.

Faraday entdeckte in demselben Jahre die Rotation eines starren Stromleiters um einen Magnetpol und gab dadurch den Schlüssel zur Erklärung der Erscheinung, welche am Flammenbogen beobachtet worden war. Im Jahre 1823 zeigte Davy, daß auch ein flüssiger metallischer Leiter, Quecksilber oder geschmolzenes Zinn, unter gleichen Umständen, wie ein starrer, in elektromagnetische Drehung versetzt werden kann, eine Thatsache, welche späterhin auch bei nicht metallischen flüssigen Leitern nachgewiesen wurde.

So rasch dieser Kreis von Erscheinungen in experimenteller Hinsicht durchforscht worden ist, so schnell hat er auch in theoretischer Beziehung seine Erledigung gefunden. Ampère, obwohl die continuirlichen Rotationen nicht voraussehend, hat sie sehr bald auf die von ihm entdeckten elektrodynamischen Gesetze zurückgeführt.

Davy stellte seine Versuche zuerst in der Art an, daß er in eine mit Quecksilber gefüllte Schale die beiden Poldrähte einer sehr kräftigen Volta'schen Batterie lothrecht hinabgehen ließ, und nun von unten oder oben her einen Magnetpol näherte. — Das Quecksilber rotirte um die beiden Drähte in entgegengesetzter Richtung.

Hierauf leitete er die beiden Drähte von unten her, durch den Boden der Schale, und überzog dieselben so weit mit Siegellack, daß nur ihre zuvor abgeflachten und polirten Enden entblößt blieben und mit dem Quecksilber in Berührung kamen, von welchem sie nur etwa eine Linie hoch bedeckt wurden. Jetzt kam die Rotation des Quecksilbers auch ohne Magnet, nur nicht so stark, zum Vorschein, und über den beiden Drahtenden zeigte sich eine Hebung des Quecksilbers von 1 bis 2 Linien, es bildeten sich also zwei Kegel, von deren Gipfel das flüssige Metall fortwährend nach allen Seiten abfloß. Durch die Annäherung eines Magnetpoles von oben her konnten diese Kegel bis zum Spiegel des Quecksilbers abgeflacht, ja sogar eine Vertiefung hervorgebracht werden, während die Masse zugleich schneller herumwirbelte.

Nach Poggendorff's Ansicht entspringt die Hebung des Quecksilbers über den Enden der Polardrähte aus der Repulsion, welche nach Ampère's Theorie, die Theile eines Stromes in seiner eigenen Richtung auf einander ausüben.

Die Depression des Quecksilbers, welche durch einen Magnetpol hervorgebracht wird, erklärt sich einfach durch die bei der rascheren Rotation kräftiger wirkende Centrifugalkraft.

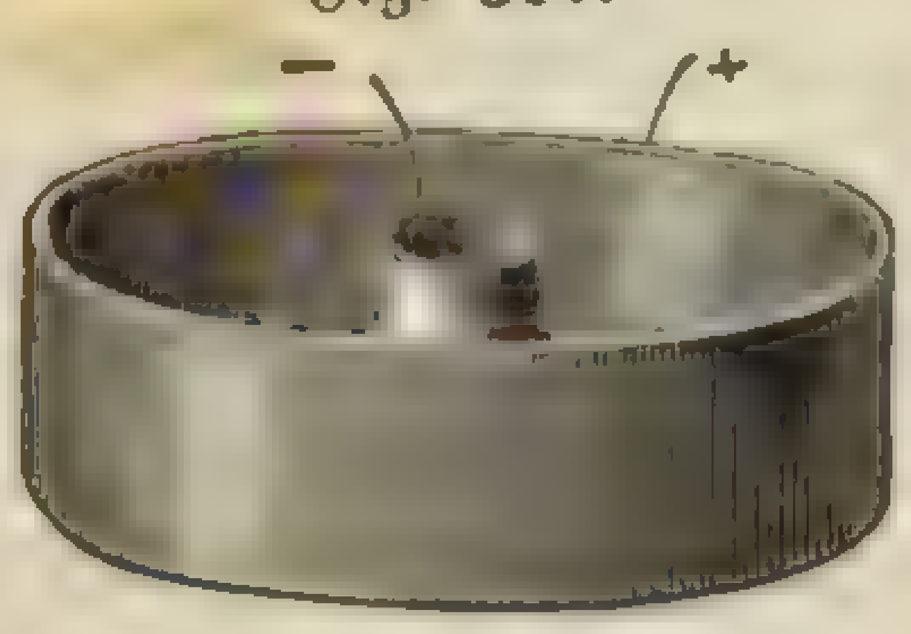
Um diese Depression auch mit geringeren Mitteln hervorzubringen, verfuhr

Poggendorff folgendermaßen: In ein Uhrglas oder Porzellanschälchen wird etwa eine Unze Quecksilber gegossen und das Gefäß auf eine vertikal stehende Drahtrolle gesetzt, die einen Eisenkern umschließt; für diese Drahtrolle kann man natürlich auch den einen Schenkel eines Uförmigen Elektromagneten in Anwendung bringen, dessen Pole nach oben stehen. — In das flüssige Metall werden nun zwei Drähte von Eisen oder Platin eingetaucht, der eine nahe am Rande, der andere in der Mitte der runden Masse, und zwar der letztere so, daß er nur etwa $^1/_2$ Linie in das Quecksilber eintaucht. Werden nun die erforderlichen Verbindungen gemacht, um den Strom einer galvanischen Kette durch die Windungen der Magnetisirungsspirale und dann durch den einen der besprochenen Drähte in das Quecksilber ein-, durch den anderen Draht herauszuleiten, so tritt beim Schließen der Kette sogleich eine lebhafte Rotation des Quecksilbers ein.

Im ersten Moment geschieht die Rotation um beide Drähte in entgegengesetzter Richtung, aber bald überwiegt die um den centralen Draht, wegen seiner vortheilhafteren Stellung, und nun hat man also nur eine einzige Rotationsrichtung. In Folge der durch diese Rotation erzeugten Centrifugalkraft senkt sich das Quecksilber in der Mitte, und wenn der centrale Draht nicht zu tief eingetaucht ist, kommt bald ein Moment, wo das Quecksilber sich von ihm abtrennt und dadurch eine Unterbrechung des Stromes bewirkt. Die Rotationsgeschwindigkeit des Quecksilbers nimmt nun allmälig ab, es steigt in der Mitte, bis es endlich wieder mit dem centralen Draht in Berührung kommt, wo dann die Rotation mit anfänglicher Geschwindigkeit von Neuem beginnt.

Die Rotation nicht metallischer flüssiger Leiter läßt sich am bequemsten in folgender Weise zeigen. Zwei concentrische Ringe von Kupferblech, deren größerer ungefähr 5, deren kleinerer 1 Centimeter Durchmesser hat, Fig. 317, sind durch einen wohlgefirnißten eingekitteten Boden von Holz zu einem Gefäße verbunden, welches mit einer leitenden Flüssigkeit, etwa mit einer Lösung von Kupfervitriol gefüllt wird. Setzt man dieses Gefäß auf den einen Pol eines kräftigen Elektromagneten, verbindet man dann die eine Kupferwand mit dem positiven, die andere mit dem negativen Pole eines constanten Bechers, so beginnt alsbald die elektromagnetische Rotation der Flüssigkeit.

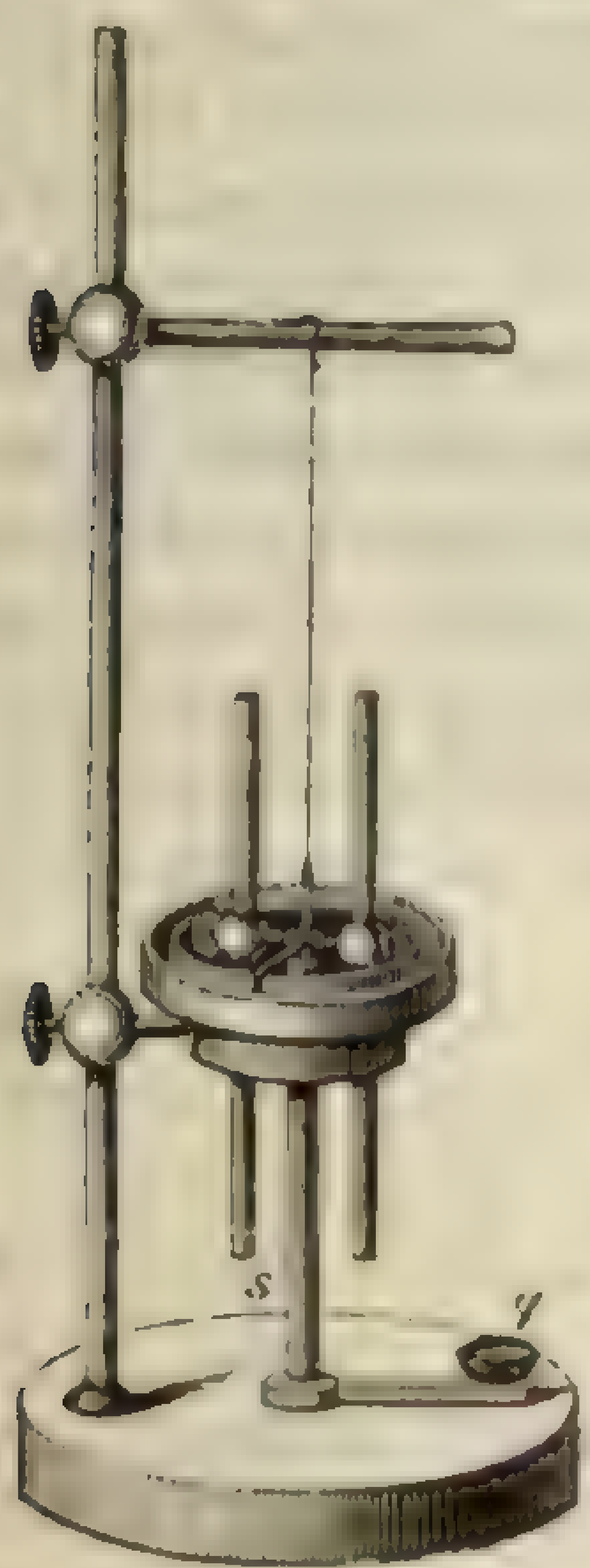
Fig. 317.



111 **Rotation eines beweglichen Magneten um einen festen Strom.** Wäre der Strom *s*, Fig. 313, fest, der Magnet *a b c d* aber um *s* drehbar, so würden dieselben Kräfte, welche im vorigen Falle den Strom um den Magneten drehten, nun den Magneten in Rotation versetzen. Derselbe Apparat Fig. 314, welcher gedient hat, die Rotation eines Stromes um einen Magneten zu zeigen, kann mit einigen Abänderungen auch dienen, um einen Magneten um einen festen Strom rotiren zu lassen. Zunächst wird die Korkscheibe mit dem Magnetstab *m* und dem Kupferbügel *b* weggenommen, der horizontale Stab *a* aber in der Weise festgeschraubt, daß das obere Ende des Kupfer-

stabes *s* den Mittelpunkt der Holzrinne bildet, wie dies Fig. 318 der Fall ist. Am oberen Ende des Kupferstabes *s* befindet sich eine Höhlung, welche mit Quecksilber gefüllt wird. In dieser Höhlung hängt von oben herab ein Metallstiftchen, so daß sein unteres Ende in das Quecksilber eintaucht, ohne den Boden zu berühren. An dieses an einem Seidenfaden herabhängende Metallstäbchen ist ein horizontaler Querstab befestigt, welcher mit zwei Kugeln endigt, in denen zwei Magnetstäbe so stecken, daß beide ihren Nordpol oben oder beide ihren Norpol unten haben.

Fig. 318.



In der Mitte des erwähnten horizontalen Querstabs ist rechtwinklig zu seiner Richtung ein anderes Metallstäbchen angesetzt, welches mit einer nach unten umgebogenen Platinspitze endigt; diese Platinspitze taucht in das Quecksilber der hölzernen Rinne. Wenn nun der eine Pol der Kette in das Quecksilbernäpfchen *q*, der andere in die Holzrinne getaucht wird, so geht der Strom von *q* durch *s*, von dem oberen Ende des Stäbchens *s* durch das Horizontalstäbchen in die Rinne, oder er circulirt in entgegengesetzter Richtung. Sobald der Strom zu circuliren beginnt, fängt auch das ganze an dem Faden hängende System mit den beiden Magnetstäben an, um die durch den Faden gebildete vertikale Achse zu rotiren. Die Wirkung des vertikalen Stromes in *s* auf den einen Magnetstab wird durch die Wirkung des Stromes auf den anderen Magnetstab unterstützt. Wäre der Nordpol des einen und der Südpol des anderen Magneten nach unten gekehrt, so würden sich die Wirkungen des Stromes auf die beiden Magnetstäbe gegenseitig aufheben.

Die Richtung der Rotation hängt davon ab, ob die Nordpole oder die Südpole der Magnete nach unten gekehrt sind, und in welcher Richtung der Strom circulirt. Nehmen wir an, der positive Strom stiege in *s* in die Höhe, so müßte in diesem Draht die Ampère'sche Figur aufrecht stehen. Wenn nun der Südpol der beiden Magnete nach unten gekehrt ist, so wird, wenn die Figur nach einem Magnetstab hin sieht, die Rotation nach ihrer rechten Seite hin gehen, die Magnete rotiren also in der Richtung wie der Zeiger einer Uhr. Eine Umkehrung des Stroms oder eine Umkehrung der Magnetpole würde eine Umkehrung der Rotationsrichtung zur Folge haben.

Eine andere Form dieses Versuchs ist Fig. 319 (a. f. S.) dargestellt. Ein Glasgefäß *v v'* ist bis nahe an den Rand mit Quecksilber gefüllt; ein cylinderförmiger Magnet *a b*, durch ein Platinstück *p* beschwert, hält sich in dem

Quecksilber so aufrecht, daß er noch einige Millimeter über den Spiegel desselben hervorragt. Ein Stäbchen *l*, welches man mittelst einer Schraube höher und tiefer stellen kann, taucht mit seinem unteren Ende in das Quecksilber ein, während es an seinem anderen Ende mit einem Kupferdrahte *c'* verbunden ist, der zu dem einen Pole einer galvanischen Kette führt; ein anderer Kupferdraht *c* endlich, welcher mit dem anderen Pole der Kette verbunden ist, endigt im Gefäße mit einem Ringe, der etwas in das Quecksilber eintaucht. Sobald die Kette geschlossen wird, dreht sich der Magnet mehr oder minder schnell immer in derselben Richtung um das Stäbchen *l* herum; er zeigt einiges Bestreben, sich dem Stäbchen *l* zu nähern, mit einiger Vorsicht läßt sich aber Alles so einrichten, daß er fern bleibt. Damit die Rotation regelmäßig und rasch vor sich gehe, ist schon ein starker Strom nöthig.

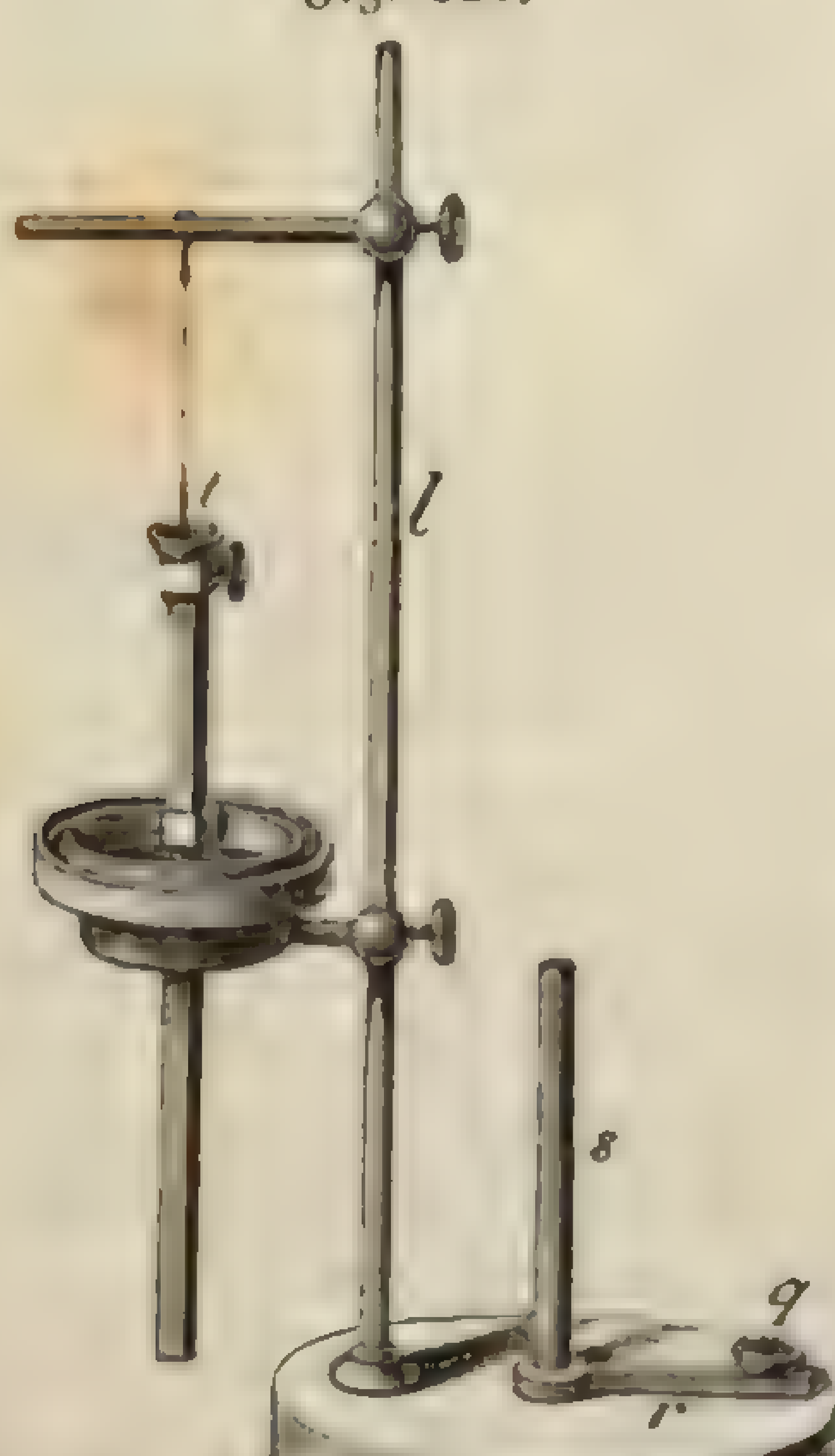
Fig. 318.



Wenn man den Strom durch die eine Hälfte der Achse eines Magneten selbst auf- oder niederströmen läßt, so rotirt er um seine eigene Achse, wenn seine Aufhängung oder seine Aufstellung eine solche Rotation erlaubt.

Die Richtung der Drehung findet ganz in der Weise Statt, wie es das Ampère'sche Gesetz verlangt. Ist nämlich das Nordende oben, so dreht sich derselbe immer nach der linken Seite der in den Strom eingeschaltet gedachten menschlichen Figur. Ist das Südende oben, so geht die Bewegung in umgekehrter Richtung vor sich.

Fig. 320.



Um einen Magneten um seine eigene Achse rotiren zu machen, kann man dasselbe Stativ anwenden, welches Fig. 314 und Fig. 318 abgebildet ist. Die zu diesen Versuchen nöthige Anordnung ist Fig. 320 dargestellt. Die Rinne hat dieselbe Stellung, wie in Fig. 314, jedoch ist die Korkscheibe mit dem Magneten *m* und dem Kupferbügel *b* weggenommen, dagegen hängt nun, durch das Centrum der Rinne gehend, an einem seidenen Faden ein Magnetstab herab, so daß ein Theil seiner Länge über, ein Theil unter der Horizontalebene der Holzrinne sich befindet. Am oberen Ende des Magnetstabes ist eine Hülse angeschraubt, welche ein Quecksilbernäpfchen *t* trägt, in dessen Mitte der Faden be-

festigt ist, an welchem der Magnet hängt. Eine zweite Hülse ist in der Höhe der Holzrinne an den Magnetstab angeschraubt, von dieser führt ein Metallstäbchen, welches mit einer nach unten gebogenen Platinspitze versehen ist, zu der Rinne. Sobald das eine Polende der Kette in das Quecksilbernäpfchen *t*, das andere in die Holzrinne eingetaucht ist, beginnt die Rotation des Magneten um seine eigene Achse. Der Strom durchläuft das horizontale Stäbchen und das obere Ende des Magnetstabes.

Fig. 321 stellt einen zur Anstellung desselben Versuchs von Frick construirten sehr zweckmäßigen Apparat dar. In einer Vertiefung des Brettchens *MM* steht ein Glas, auf dessen Boden ein mit einer Stahlspitze versehenes Brettchen aufgekittet ist. Auf diese Spitze wird der eine Pol eines cylindrischen Magneten mit der kleinen Vertiefung gesetzt, die er noch vom Abdrehen her hat. Auf dem anderen Pol *N* ist, wie man Fig. 322 deutlich sieht, eine Hülse

Fig. 321.

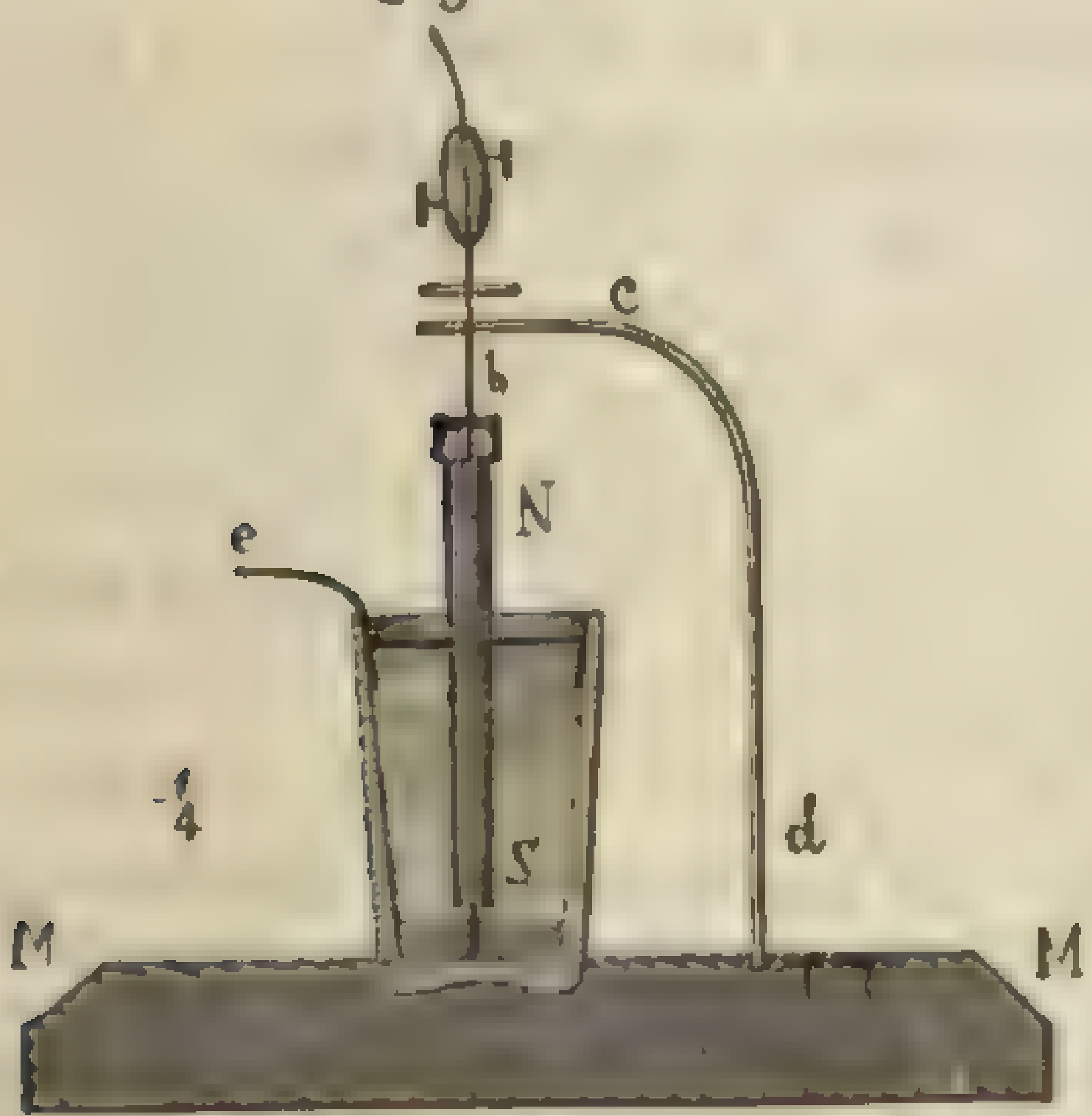
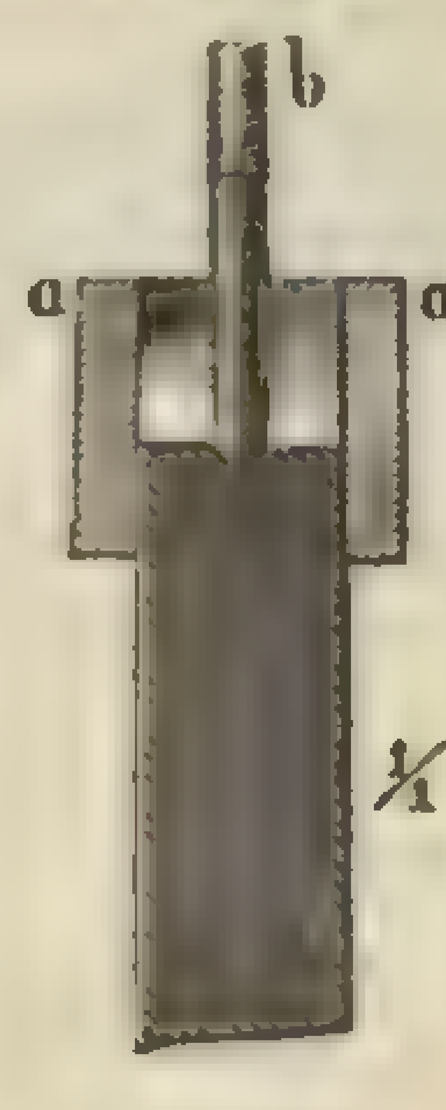


Fig. 322.



a a aufgeschoben, welche ein Quecksilbernäpfchen bildet Ein Messingstreifen *c d* ist ebenfalls auf das Brettchen *MM* befestigt und trägt eine stählerne Schraube *b*, deren reingeschliffene Spitze jener im Glase vertikal gegenübersteht. Die Schraube wird nun soweit gegen das obere Kernloch des runden Magneten herunter geschraubt, daß derselbe zwischen beiden Spitzen noch etwas Spielraum hat, aber dieselben noch nicht verlassen kann. Ein Kupferstreifen *e* trägt einen nicht ganz geschlossenen, durch Federung gegen die Wände des Glases drückenden kupfernen Ring; er wird amalgamirt. In die Hülse *a a*, Fig. 322, gießt man nun etwas Quecksilber und in das Glas so viel, daß sein Auftrieb gerade den Magneten trägt und er also zwischen seinen beiden Spitzen eigentlich schwebt, folglich, da er im Quecksilber an derselben Stelle bleibt, sich ungemein leicht drehen kann.

Wird der eine Pol eines constanten Bechers mit dem Streifen *e*, der andere mit der Schraube *b* oder dem Bügel *c d* verbunden, so beginnt die Rotation nach den bekannten Gesetzen.

Rotation eines Stromes unter dem Einfluß eines anderen. Denken wir uns einen festen unbegränzten Strom *ab* und einen Strom *cd*, welcher gegen *ab* hin- oder von demselben wegströmt, und welcher parallel mit sich selbst verschiebbar ist, so wird, wenn der Kreuzungspunkt in *r* ist, zwischen den Theilen *cd* und *rb* Anziehung, zwischen *ar* und *cd* aber Abstoßung stattfinden. Jede dieser beiden Kräfte läßt sich in zwei andere zerlegen, von denen eine parallel mit *ab* und eine rechtwinklig auf *ab* ist. Da *cd* nur parallel mit *ab* bwegt werden kann, so können die mit *cd* parallelen Composanten keine Wirkung hervorbringen; die mit *ab* parallelen aber vereinigen sich zu einer Resultirenden, welche den Strom *cd* in der Richtung von *a* nach *b* forttreibt.

Fig. 323.

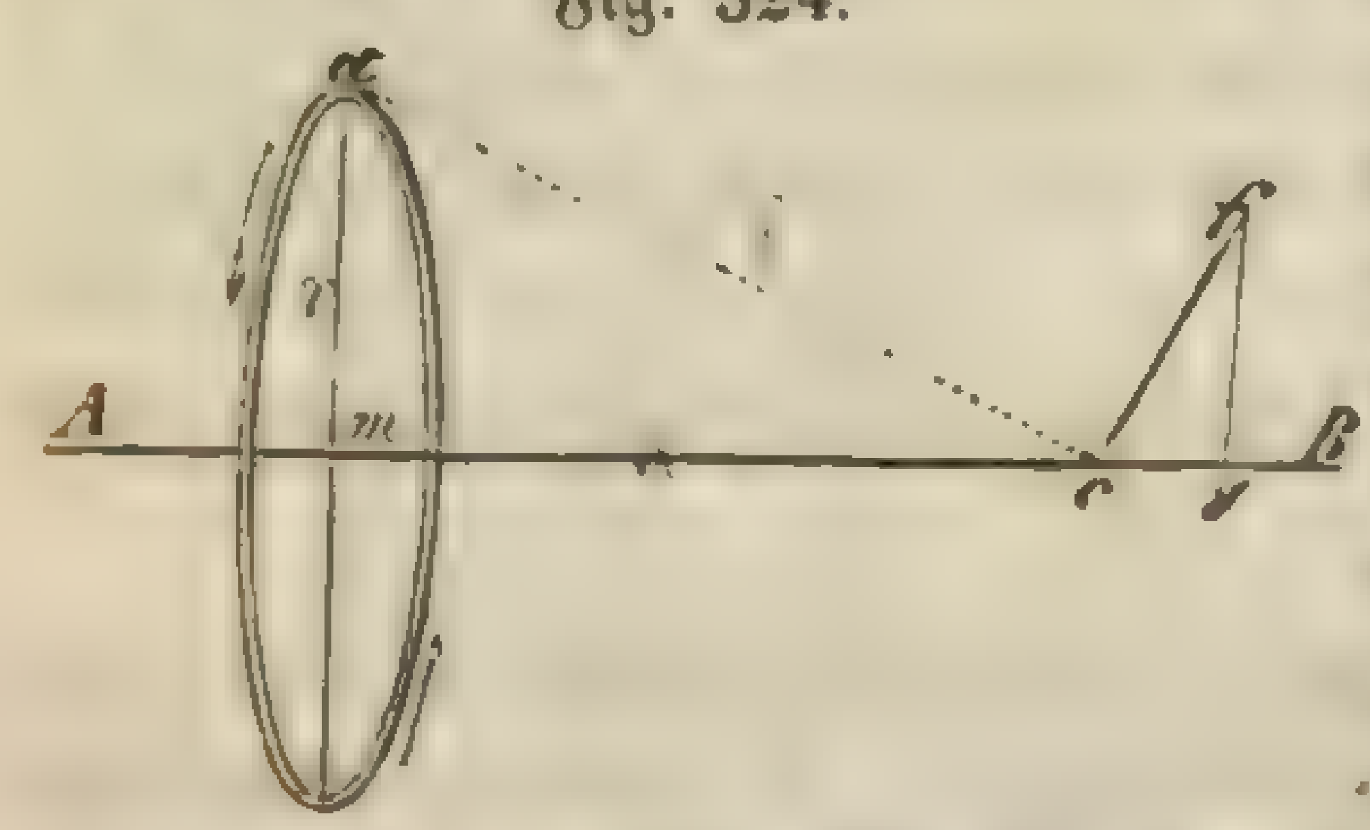


Wenn der feste Strom *ab* kreisförmig gebogen ist, so muß sich *cd* in Folge derselben Wirkung beständig im Kreise herumdrehen, wenn er in der geeigneten Weise beweglich gemacht wird. Dies ist nun bei den Apparaten der Fall, welche in Fig. 316 Seite 330 auf die Pole des Magneten aufgesetzt sind. Nimmt man sie von den Magnetpolen weg, steckt man sie dafür auf gleich dicke Holzcylinder, und umgiebt man endlich die Gefäße, bei dem einen Apparat also das Zinkgefäß, bei dem anderen das Holzgefäß, mit einer kurzen Magnetisirungsspirale, welche durch mehrere übereinander gewickelte Lagen von dickem Kupferdraht gebildet ist, so wird eine Rotation des beweglichen Leiters erfolgen, wenn die Magnetisirungsspirale von einem kräftigen Strome durchflossen wird.

So wie man früher die elektrischen Anziehungen und Abstoßungen zu einer Menge von elektrischen Spielereien benutzte, so hat man jetzt auch die elektromagnetischen Rotationsphänomene auf die mannigfaltigste Weise variirt. Es mag hier genügen, die Grundphänomene in den einfachsten Formen kennen gelernt zu haben.

113 **Magnetisches Moment eines Kreisstromes.** Fig. 324 stelle die perspectivische Ansicht eines kreisförmigen Stromes dar, dessen Ebene mit dem magnetischen Meridian zusammenfällt, so also, daß die durch den Mittelpunkt des Kreisstromes gelegte horizontale Linie *AB* auf dem magnetischen Meridian rechtwinklig steht. Wir wollen nun die Wirkung untersuchen, welche der Kreisstrom auf irgend ein magnetisches Element ausübt, welches sich in irgend einem Punkte der Linie *AB*, etwa in *c* befindet.

Fig. 324.



Wenn der Kreisstrom in der durch die Pfeile bezeichneten Richtung circulirt, so hat ein elementares Theilchen des Stromes, etwa das Theilchen bei d, ein Bestreben, ein nordmagnetisches Element in c nach der Richtung cf zu bewegen; die Größe dieser bewegenden Kraft läßt sich durch

$$\frac{ns\gamma\varphi}{l^2}$$

darstellen, wenn s die Stärke des Kreisstromes nach chemischem Maaß, γ die Intensität des Magnetismus im magnetischen Theilchen c, φ die Länge des elementaren Bogenstücks bei d, l die Entfernung cd und n einen constanten Factor bezeichnet, der alsbald näher bestimmt werden soll.

Setzen wir den Halbmesser des Kreises gleich r, die Entfernung $mc = x$, so ist $l^2 = x^2 + r^2$ und der obige Werth für die in der Richtung cf auf c wirkende Kraft wird

$$\frac{ns\gamma\varphi}{x^2 + r^2}.$$

Zerlegt man die Kraft cf nach der Richtung der Ringachse und rechtwinklig auf dieselbe, so ist es leicht, den Werth der Composante cg zu bestimmen, denn es verhält sich $cf : cg = cd : dm$, oder $cf : cg = l : r$, mithin ist $cg = \frac{cf.r}{l} = \frac{cf.r}{\sqrt{x^2 + r^2}}$ oder endlich

$$cg = \frac{ns\gamma\varphi r}{(x^2 + r^2)^{3/2}}.$$

Setzen wir nun in diesen Werth von cg für das Bogenelement φ den ganzen Umfang $2\pi r$ des Kreisstromes, so ergiebt sich als Resultante der Kräfte, mit welchen alle Elemente des Kreisstromes das Theilchen γ in der Richtung der Achse zu bewegen suchen,

$$\frac{2\pi r^2 \gamma . s . n}{(x^2 + r^2)^{3/2}} \ldots\ldots (a).$$

Die Kräfte senkrecht gegen die Richtung der Achse AB heben sich auf.

Aus dieser Formel sehen wir:

1) daß die magnetische Wirkung eines Kreisstromes dem Quadrate seines Halbmessers oder, was dasselbe ist, dem Flächeninhalt des umströmten Kreises proportional ist, und

2) daß die Wirkung eines Kreisstromes auf ein magnetisches Theilchen, welches auf seiner Achse liegt, sich umgekehrt verhält, wie die dritte Potenz der Entfernung $\sqrt{x^2 + r^2}$ des magnetischen Theilchens von der Peripherie des Kreisstromes, daß also die magnetische Wirkung eines Kreisstromes in die Ferne denselben Gesetzen folgt, wie die Totalwirkung eines Magneten.

Die Formel (a) kann auch die Kraft ausdrücken, mit welcher der Kreisstrom

eine in c befindliche kleine Magnetnadel in die Achse AB zu drehen strebt. Die Kraft, mit welcher der Erdmagnetismus auf die Nadel wirkt, um sie in den magnetischen Meridian zurück zu führen, ist $T\gamma$. Der Quotient dieser beiden Kräfte muß aber die Tangente des Ablenkungswinkels geben, es ist also

$$\frac{2\pi r^2 n s}{T(x^2+r^2)^{3/2}} = tang.\ u.$$

Nun gilt aber diese Formel, in welchem Punkte der Achse AB sich auch die Nadel befinden mag, wenn ihre Länge nur klein genug ist gegen ihre Entfernung von der Peripherie des Kreisstromes. Für den Fall nun, daß die Nadel in dem Mittelpunkte des Kreisstromes liegt, ist $x = 0$ und man hat alsdann

$$\frac{2\pi r^2 n s}{T r^3} = tang.\ u. \ldots\ldots (b)$$

und daraus

$$n = \frac{Tr \,.\, tang.\, u}{2\pi s}.$$

Bei einer in dem physikalischen Auditorium zu Freiburg angestellten Versuchsreihe ergab eine Tangentenbussole von 0,19m Radius für die Stromstärke 70 eine Ablenkung von 45^0 (Seite 171), also $tang.\ u = 1$. Für dieselbe Stelle ergab sich $T = 7{,}03$ (an dem Fenster, in dessen Nähe diese Versuche gemacht wurden, befand sich ziemlich viel Eisen. In einem eisenfreien Lokale ergab sich $T = 6{,}19$), und demnach ist

$$n = 0{,}00304.$$

Dieser Werth von n ist jedoch nur als eine erste Annäherung zu betrachten. Aus Gleichung (b) ergiebt sich auch

$$\frac{2\pi n s}{Tr} = tang.\ u,$$

das heißt, die Tangente des Ablenkungswinkels, welche ein und derselbe Strom in Tangentenbussolen von verschiedenem Ringdurchmesser hervorbringt, ist unter übrigens gleichen Umständen dem Halbmesser des Ringes umgekehrt proportional, wobei jedoch immer vorausgesetzt ist, daß die Länge der Nadel sehr klein ist gegen den Durchmesser des Ringes.

So wie man aus der Ablenkung, welche ein Magnetstab an einer Bussole hervorbringt, das magnetische Moment des Stabes berechnen kann, so läßt sich auch mittelst der durch einen Kreisstrom hervorgebrachten Ablenkung das magnetische Moment desselben ermitteln.

Wenn man einen Magnetstab in eine solche Lage gegen eine Magnetnadel bringt, wie Fig. 37 auf Seite 37 zeigt, so ist das reducirte Drehungsmoment des Stabes (S. 39 und S. 43)

$$\frac{M}{T} = r^3\ tang.\ v,$$

woraus sich für das magnetische Moment des Stabes der Werth

$$M = Tr^3\ tang.\ v$$

ergiebt. Bringt man aber denselben Magneten in die Fig. 36 dargestellte Lage gegen die Nadel, so erhält man eine solche Ablenkung u der Nadel, daß bei gleicher Entfernung die Tangente des Ablenkungswinkels u doppelt so groß ist, als die Tangente des in der ersten Lage beobachteten Ablenkungswinkels v. Hat man also bei der in Fig. 36 dargestellten Lage die Ablenkungsversuche gemacht, so ist

$$M = \frac{T r^3 \, tang. u}{2}.$$

Die mit der Tangentenbussole gemachten Ablenkungsversuche entsprechen der Lage Fig. 36, man kann also auch das magnetische Moment G für einen solchen Strom auf dieselbe Weise bestimmen, wie den Werth von M für den Magnetstab; es ist nämlich

$$G = \frac{T r^3 \, tang. u}{2}.$$

Nach Gleichung (b) ist aber

$$\frac{T r^3 \, tang. u}{2} = \pi r^2 n s,$$

und wenn wir für den Factor n seinen obigen Zahlenwerth setzen, so erhalten wir für das magnetische Moment des Kreisstromes den Werth

$$G = \pi \, . \, r^2 s \, . \, 0{,}00304 = 0{,}00955 \, r^2 s.$$

Die Kraft, mit welcher der Erdmagnetismus den Kreisstrom zu drehen strebt, wenn seine Ebene mit dem magnetischen Meridian zusammenfällt, ist demnach für Freiburg

$$D = G \, T = 0{,}00964 \, . \, 7{,}03 \, . \, r^2 s = 0{,}0671 \, r^2 s.$$

Setzt man für r den Halbmesser des Kreisstromes in Metern ausgedrückt, für s die Stromstärke nach chemischem Maaß, so stellt dieser Werth von D, in Grammen ausgedrückt, die an einem Hebelarm von 1 Centimeter angreifende Kraft dar, mit welcher der Erdmagnetismus den Kreisstrom zu drehen strebt.

Es habe z. B. eine Drahtrolle von der Form Fig. 302 200 Windungen, deren Radius im Mittel 0,1 Meter ist und in welcher ein Strom von der Stärke 10 kreis't, so ist die Kraft, mit welcher der Erdmagnetismus auf jede einzelne Windung wirkt, 0,00671, und die Kraft, mit welcher der Erdmagnetismus die ganze Drahtrolle zu drehen strebt, wenn sie sich im magnetischen Meridian befindet, gleich dem an einen Hebelarm von 1 Centimeter angebrachten Druck von 1,342 Grammen.

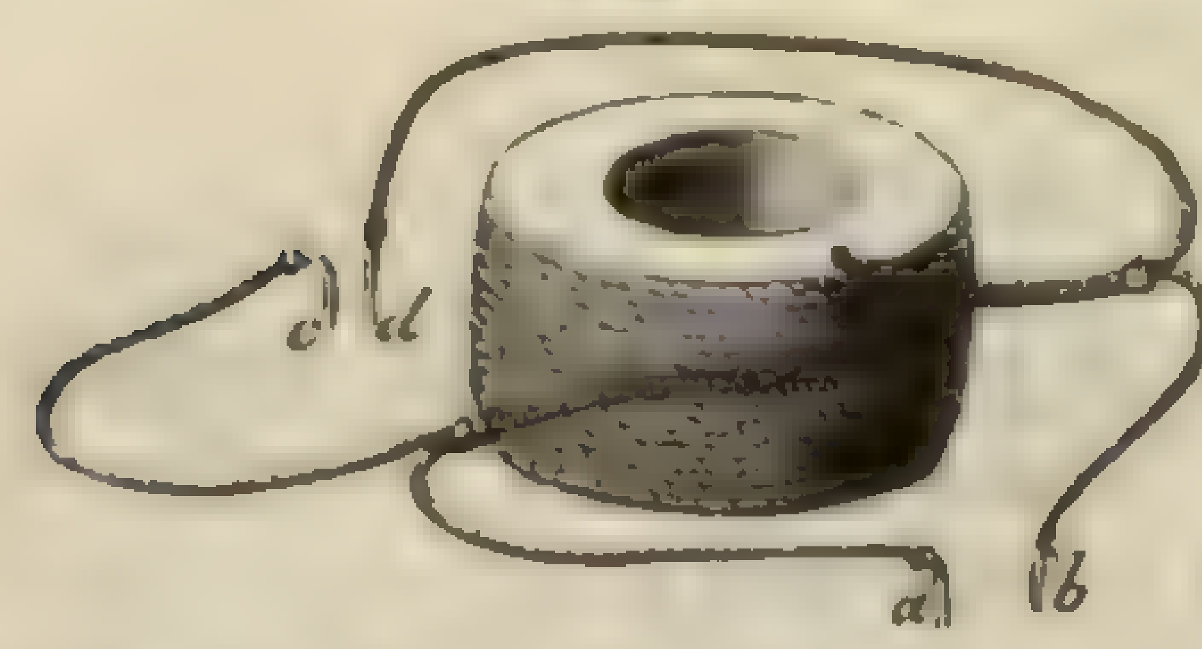
Man sieht daraus, wie gering die Kraft ist, mit welcher der Erdmagnetismus beweglich aufgehängte Kreisströme richtet.

Sechstes Kapitel.

Inductionserscheinungen.

113 **Wirkung eines elektrischen Stromes auf einen in sich geschlossenen leitenden Kreis.** Auf eine Spule von Holz seyen zwei mit Seide überzogene Kupferdrähte so aufgewickelt, wie man Fig. 325 sieht; der eine Draht läuft neben dem anderen her, ohne daß eine leitende Verbindung zwischen ihnen stattfindet; wenn man also mit dem einen Draht eine galvanische Kette schließt, indem man seine beiden Enden *a* und *b* mit den Polen derselben in Verbindung setzt, so circulirt in diesem Drahte der Strom, ohne daß er jedoch auf den anderen Draht übergehen könnte. Wir wollen den Draht *ab*, welcher den Schließungsbogen des Rheomotors bildet, den Hauptdraht, den anderen den Nebendraht nennen. — Verbindet man die Enden *c* und *d* des Nebendrahtes mit den Drahtenden eines Multiplicators, so beobachtet man eine Ablenkung der Nadel sobald die Kette mit dem Hauptdraht schließt, und zwar ergiebt sich aus der Seite, nach welcher diese Ablenkung erfolgt, daß der Nebendraht die entgegengesetzte Richtung von dem im Hauptdraht beginnenden hat.

Fig. 325.

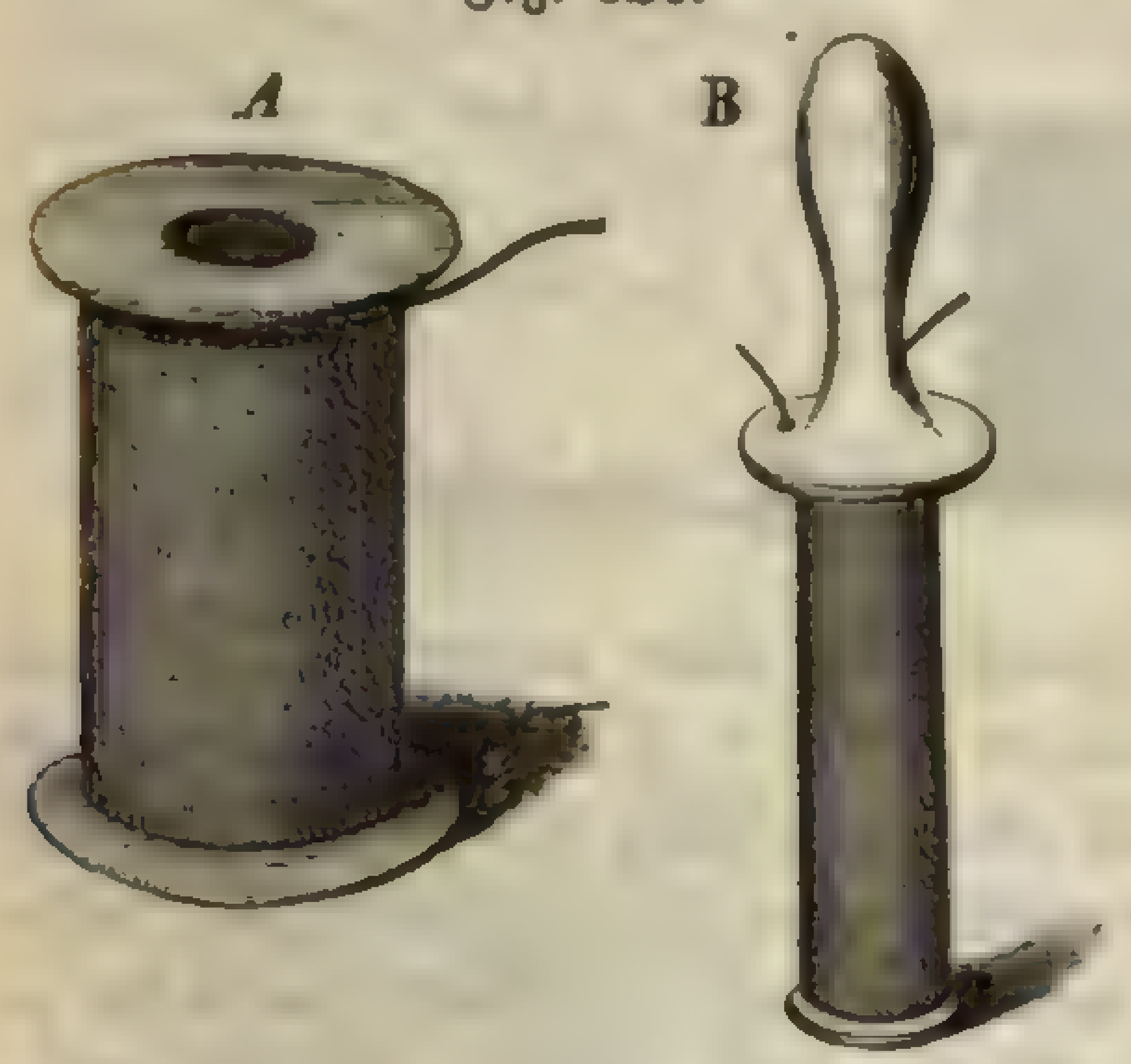


Dieser Strom im Nebendraht ist jedoch nicht andauernd, denn die Multiplicatornadel kehrt nach einigen Schwingungen wieder zum Nullpunkte der Theilung zurück und bleibt ruhig auf demselben stehen, so lange der primäre Strom in gleichmäßiger Stärke den Hauptdraht durchläuft; sobald aber der Hauptstrom unterbrochen wird, schlägt die Galvanometernadel nach der entgegengesetzten Richtung aus, sie zeigt also nun einen Strom, der den Nebendraht in der Richtung von *c* nach *d*, also in derselben Richtung durchläuft, in welcher der eben unterbrochene Hauptstrom sich bewegt hatte.

Diese Strombildung in einem geschlossenen Leiter durch die Einwirkung eines benachbarten Stromes wird mit dem Namen der Induction oder auch der Volta-Induction bezeichnet. Ein galvanischer Strom inducirt also in einem benachbarten geschlossenen Leiter einen Strom von entgegengesetzter Richtung im Moment seines Entstehens, einen gleich gerichteten im Moment seines Aufhörens.

Es ist keineswegs nöthig, daß die beiden Drähte in der angegebenen Weise auf derselben Spule aufgewunden sind, sie können auch auf verschiedenen Spulen von ungleichem Durchmesser aufgewunden seyn, so daß sich die eine Drahtspule in die andere hineinschieben läßt.

Fig. 326.



In dieser Weise stellt Fig. 326 zwei zum Inductionsversuch dienende Drahtrollen dar. Die Spirale des Hauptdrahts *B* kann in die Spirale des Nebendrahts *A* eingeschoben werden. In der Regel ist die Spirale des Hauptdrahts aus einem kürzeren aber dickeren, die Spirale des Nebendrahts aus einem längeren und dünneren Draht gemacht.

Der Inductionsstrom im Nebendraht *A* kann also dadurch erzeugt werden, daß man, während die Spirale *B* in *A* steckt, den primären Strom, welcher *B* durchläuft, abwechselnd unterbricht und wieder herstellt. Denselben Effect, nämlich die Induction eines Stromes in *A*, kann man aber auch bei ununterbrochenem Hauptstrom hervorbringen, wenn man *B* abwechselnd in die Höhlung von *A* hineinschiebt und wieder herauszieht. Beim Hineinschieben von *B* wird in den Drahtwindungen von *A* (vorausgesetzt, daß die Enden derselben leitend verbunden sind) ein Strom inducirt, welcher der Richtung nach dem Hauptstrom in *B* entgegengesetzt ist, während beim Herausziehen von *B* ein dem Hauptstrom gleichgerichteter im Nebendraht inducirt wird.

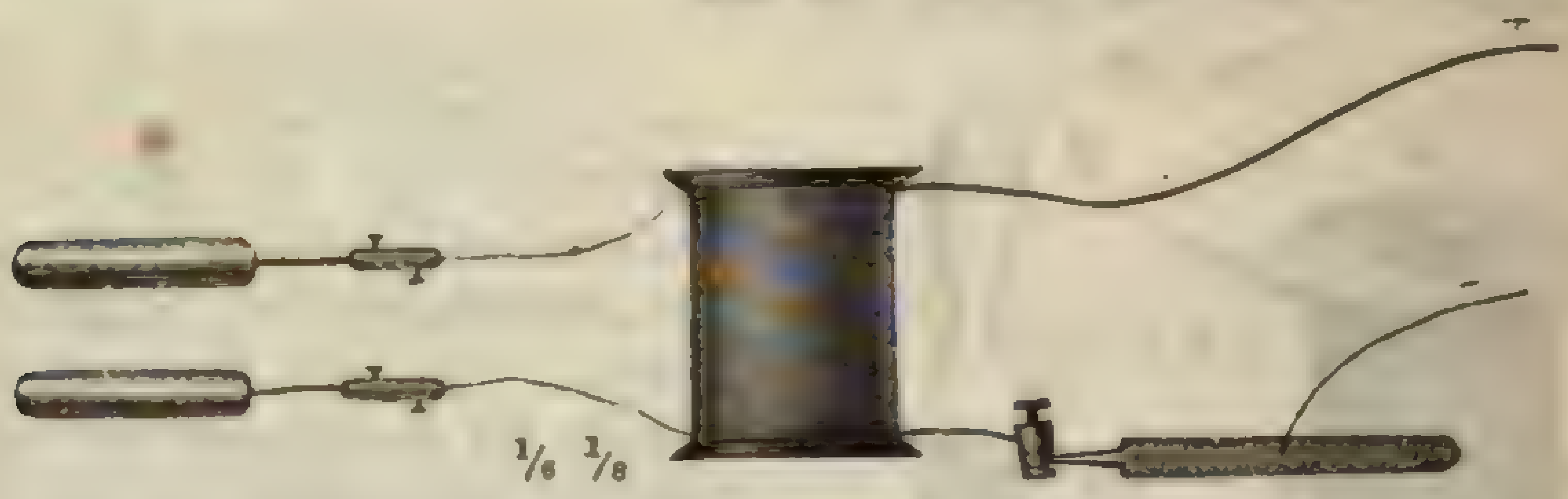
Die Existenz der Inductionsströme und ihre Richtung läßt sich, wie bemerkt wurde, dadurch nachweisen, daß man ein Galvanometer zur Schließung der Nebenspirale anwendet; diese Inductionsströme bringen aber auch alle anderen Erscheinungen galvanischer Ströme, vor allen Dingen aber sehr kräftige physiologische Wirkungen hervor. Um die Schläge der Inductionsströme durch den Körper gehen zu lassen, braucht man bloß die Drahtenden der Nebenspirale mit metallenen Griffen zu versehen und diese in die etwas befeuchteten Hände zu nehmen. So oft nun der Hauptstrom geöffnet oder geschlossen wird, erhält man einen Schlag.

Um die physiologische Wirkung recht fühlbar zu machen, muß man eine Reihe von Oeffnungs- und Schließungsschlägen in rascher Aufeinanderfolge durch den Körper senden. Man hat zu diesem Zweck verschiedene Vorrichtungen erdacht, von denen wir einige näher betrachten wollen.

Fig. 327 (a. f. S.) zeigt eine der einfachsten hierher gehörigen Vorrichtungen. Man sieht hier, wie die Enden der Nebenspirale mit Handgriffen versehen sind. Das eine Ende des Hauptdrahts führt zum einen (etwa dem positiven) Pol eines einfachen galvanischen Elements, während an dem anderen Ende des Haupt-

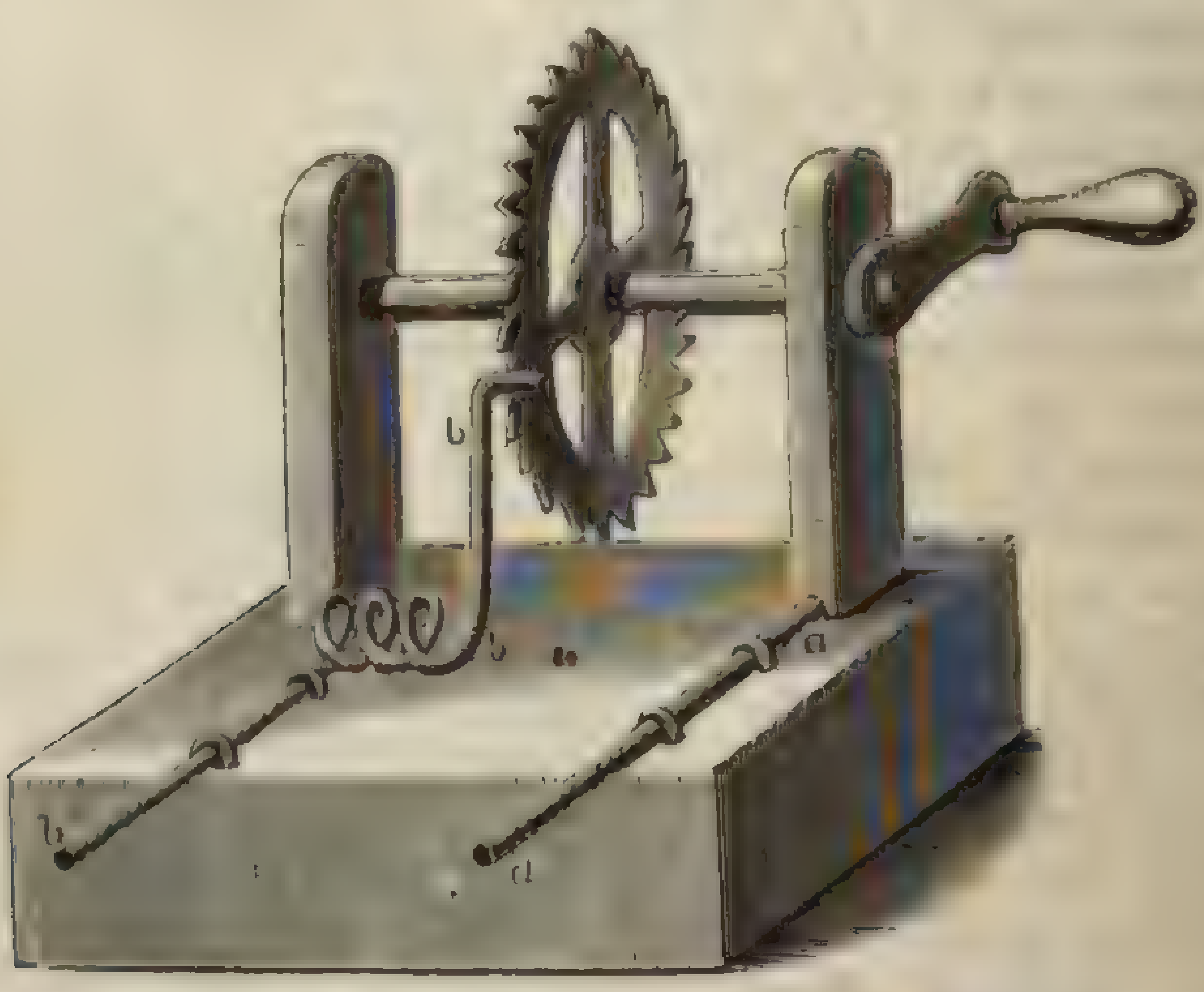
drahts eine Feile befestigt ist, über welche man dann mit dem anderen (negativen) Poldraht der Kette hinfährt.

Fig. 327.



Statt das Unterbrechen und Wiederschließen der Kette mittelst der Feile hervorzubringen, kann man noch zweckmäßiger ein **Unterbrechungsrad** oder **Rheotom**, Fig. 328, anwenden. Auf einem Holzklotz stehen zwei Messingpfeiler, welche die metallene Achse eines messingenen Zahnrades tragen, dessen Zähne am besten so geschnitten sind, wie die Zähne des Steigrades einer gewöhnlichen Pendeluhr. An dem einen Messingpfeiler ist der Kupferdraht *a*

Fig. 328.



befestigt, während ein zweiter Kupferdraht *b* federnd gegen das Rad drückt. Man kann nun leicht diesen Apparat statt der Feile in den Schließungsbogen der Kette einschalten, man braucht nur *b* mit dem einen Ende des Hauptdrahts, *a* mit dem einen Poldrahte des Elektromotors zu verbinden. So oft nun bei Umdrehung des Rades der federnde Draht *b* von einem Zahne des Rades zum anderen überspringt, erfolgt ein Oeffnen und ein alsbaldiges Wiederschließen der Kette.

In manchen Fällen ist es angenehm, wenn das Oeffnen und Schließen der Kette nicht wie in den eben betrachteten Vorrichtungen auf mechanischem Wege geschieht, sondern durch den Strom selbst hervorgebracht wird. Zu diesem Zweck sind die Spiralen am besten ein für alle mal auf einem entsprechenden Gestelle angebracht, wie z. B. Fig. 329. Haupt- und Nebendraht sind auf derselben Holzspule aufgewickelt; die Enden des Hauptdrahts sind in den Messingsäulchen 1 und 2 befestigt, in welche man die zu den Polen des Elektromotors führenden Drähte einschrauben kann, während die Enden des Nebendrahts in den Säulchen 3 und 4 befestigt sind, welche zur Aufnahme der Handhaben dienen.

Dies Gestell sieht man nun Fig. 330 noch auf ein weiteres Brett *A B* be-

Fig. 329.

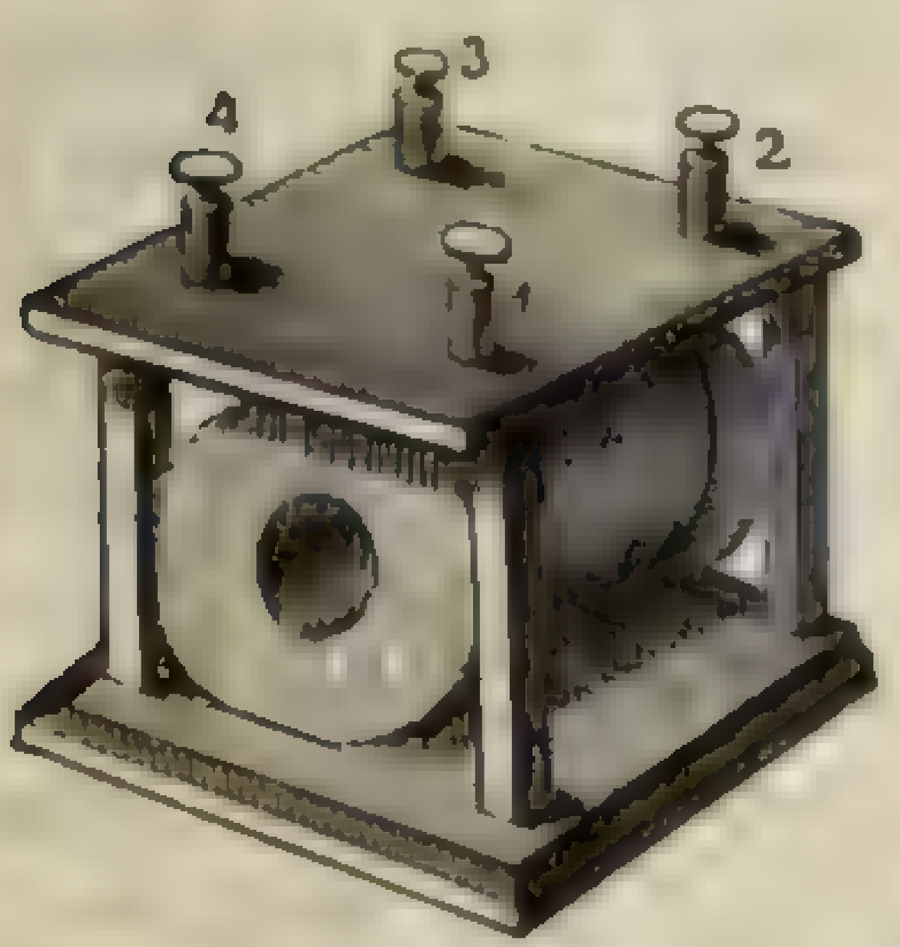
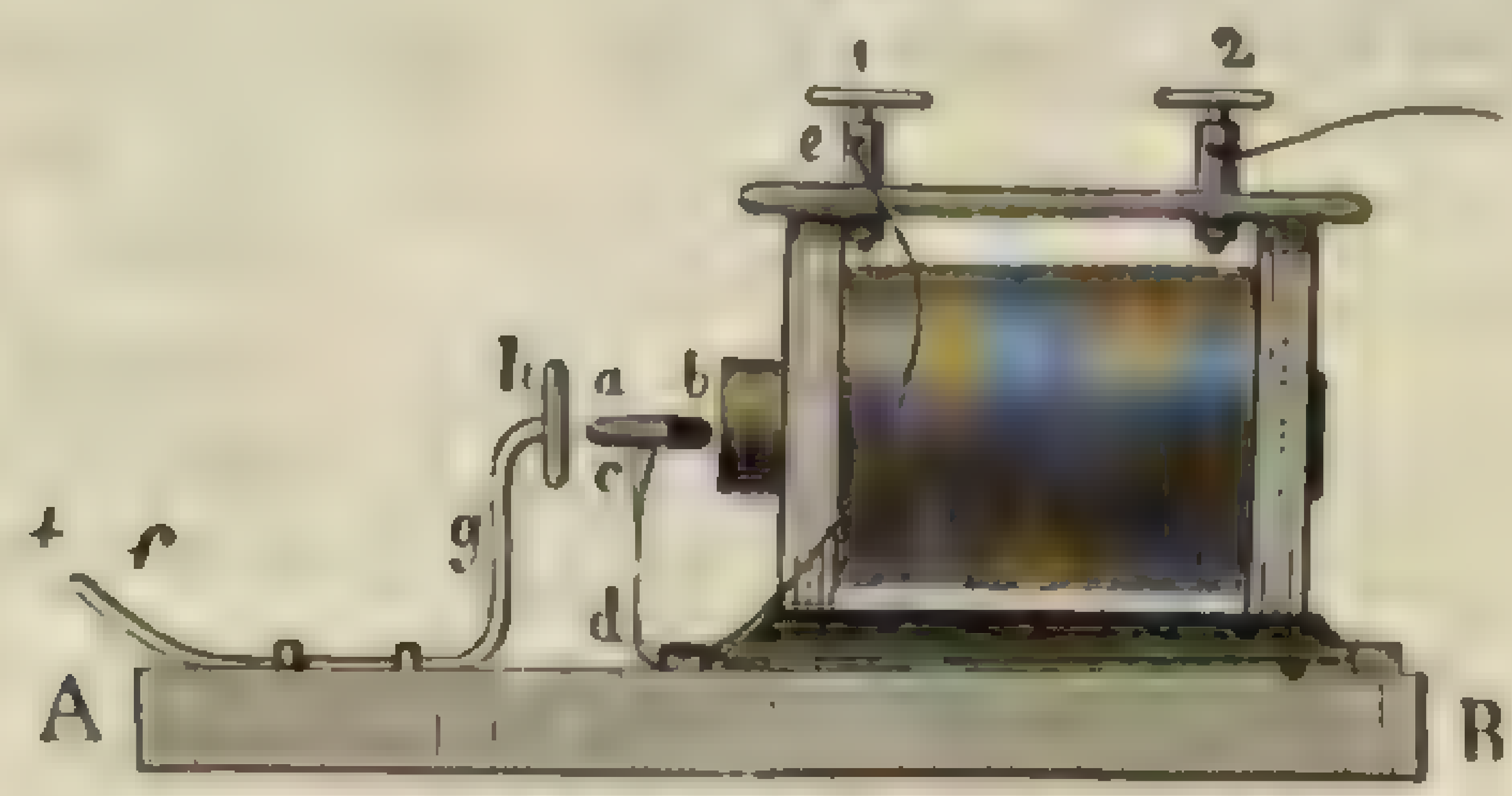


Fig. 330.



festigt. In die Höhlung der Spirale ist ein Cylinder von Eisen eingeschoben, welcher magnetisch wird, so oft ein Strom durch den Hauptdraht geht. Die Unterbrechung und Wiederschließung des Stromes wird nun durch den sogenannten magnetischen Hammer bewirkt. An einem Stückchen Messingdraht *a*, welches etwa 1''' dick und einerseits zugespitzt ist, ist ein kleines Stückchen weiches Eisen oder ein Eisenplättchen angeschraubt oder angelöthet. Dieser Hammer ist auf dem Kupferdraht *c d e* angenietet, welcher zwischen *c* und *d* breitgeschlagen ist, so daß er eine Feder bildet, welche den Hammer gegen die Metallplatte *h* andrückt. *h* ist nun an einem Drahte befestigt, welcher zum einen Pol des Elektromotors führt, während der andere direct mit dem Säulchen 2 verbunden ist. Der Strom geht nun über *f, g* und *h* zum Hammer, dann durch den Draht *c d e* in die Hauptspirale und endlich über 2 zum anderen Pol des Elektromotors. Nun aber wird der in die Spirale eingeschobene Eisencylinder magnetisch, er zieht *b* an und bewirkt dadurch eine Unterbrechung des Stromes zwischen *h* und *a*. Mit dem Aufhören des Stromes verschwindet auch der Magnetismus des Eisencylinders, das Hämmerchen wird durch die Kraft des federnden Drahts *c d* gegen *h* geführt, der Strom wieder hergestellt, und so geht dann das Spiel der Oeffnung und Schließung der Kette von selbst in rascher Aufeinanderfolge vor sich.

Das Princip des **magnetischen Hammers** und seine Anwendung bei Inductionsapparaten rührt von **Wagner** her; wir werden den magnetischen Hammer alsbald noch in einer etwas anderen Weise kennen lernen.

Ein sehr interessanter Versuch besteht darin, daß man statt der Handgriffe zwei etwa handgroße Metallplatten an den Enden der Inductionsspirale befestigt, diese in einiger Entfernung von einander in Wasser eintaucht und dann das Glied, auf welches man die Elektricität will wirken lassen, also beispielsweise die Hand, ohne die Polplatten zu berühren, zwischen dieselben in das Wasser hält. In diesem elektrischen Bade entzieht der eingetauchte Körpertheil dem Wasser den größten Theil der dasselbe durchströmenden Elektricität, und wird also auf allen Punkten auf das Lebhafteste erregt. Man begreift wohl, wie wichtig solche Bäder für die ärztliche Anwendung seyn können.

Auch der Entladungsstrom der Leidener Flasche bringt einen Inductionsstrom in einem benachbarten Drahte hervor, wie man dies am besten mit den von Rieß construirten ebenen Inductionsspiralen zeigen kann. In einem dicken Brett, welches sich nicht verzieht, sind concentrische Ringe eingeschnitten, Fig. 331, und durch gekrümmte Einschnitte zu einer spiralförmigen Figur vereinigt. In diese spiralförmige Rinne wird dann ein Kupferdraht eingelassen und durch Pech gehörig isolirend befestigt. Auf einem zweiten Brette ist in ganz gleicher Weise ein Kupferdraht so befestigt, daß, wenn man die mit den Windungen versehenen Seiten einander zukehrt, die Windungen des einen Brettes denen des anderen genau parallel sind. Rieß stellte nun zwei solche Scheiben vertikal einander gegenüber, wie man Fig. 332 sieht. Eisenlohr änderte den Apparat dahin ab, daß er die Inductionsscheiben horizontal stellt. Auf die untere Scheibe, Fig. 333, wird eine Glastafel und auf diese die zweite Scheibe gesetzt, an welcher sich dann die Windungen auf der unteren Seite befinden.

Fig. 331.

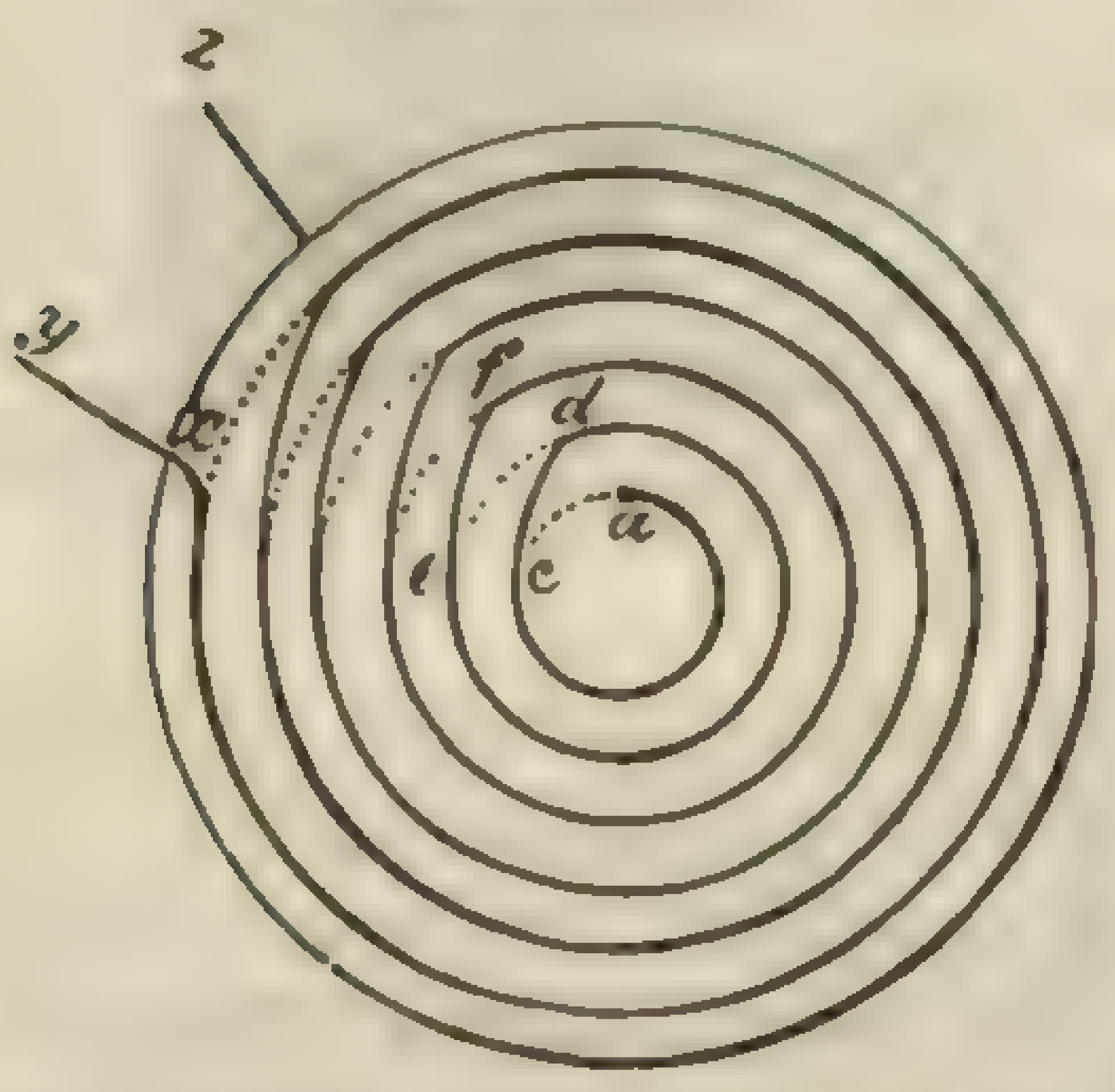


Fig. 332.

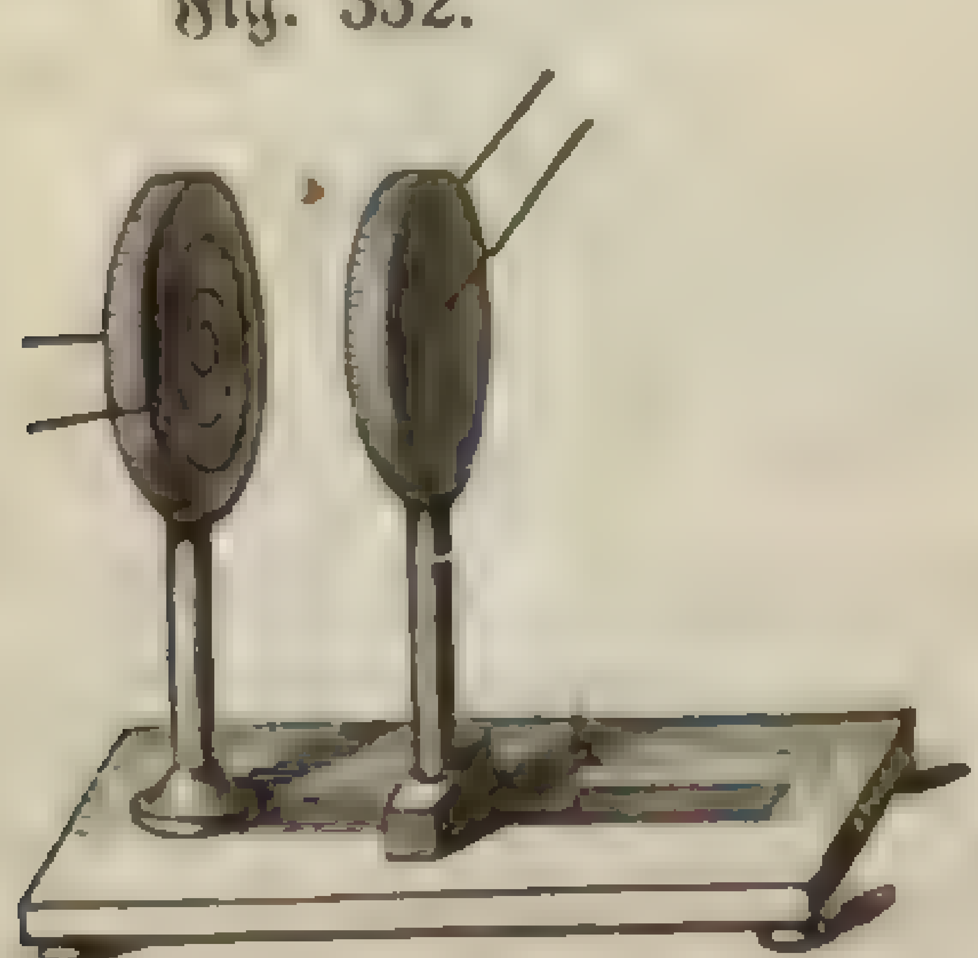


Fig. 333.



Wenn die Drahtenden x und y der unteren Spirale auf 1 bis 3 Linien genähert sind, so sieht man zwischen ihnen einen Funken überspringen, wenn durch die obere Spirale eine hinlänglich geladene Flasche entladen wird. Faßt man x in die eine, y in die andere Hand, so erhält man einen Schlag, wenn der Entladungsstrom einer Flasche die obere Spirale durchläuft. Es ist der Nebenstrom, welcher hier Funken und Schlag giebt.

Der Extrastrom. Schließt man ein einfaches galvanisches Element 114
durch eine Spirale, welche aus vielen Windungen eines übersponnenen Kupferdrahtes gebildet ist, bringt man alsdann zwei Handhaben so an, daß nach Unterbrechung des Stromes die Spirale durch den menschlichen Körper geschlossen ist, welcher die Handhabe faßt, so erhält man im Moment der Oeffnung der Kette einen mehr oder weniger heftigen Schlag, welcher von dem sogenannten Extrastrom herrührt, welcher in der Spirale entsteht in dem Augenblick, in welchem der Hauptstrom aufhört.

Die Art und Weise, wie man den Versuch anordnen kann, ist in beistehenden Figuren schematisch dargestellt. S ist die Drahtspirale, k ist der Volta'sche Becher; u ist der Stromunterbrecher, für welchen man das in Fig. 328 dargestellte Rheotom anwenden kann. Sind die Handgriffe angebracht wie in Fig. 334, so bildet nach Unterbrechung des Hauptstromes noch die Spirale, der Volta'sche Becher und der menschliche Körper eine geschlossene Kette; der

Fig. 334.

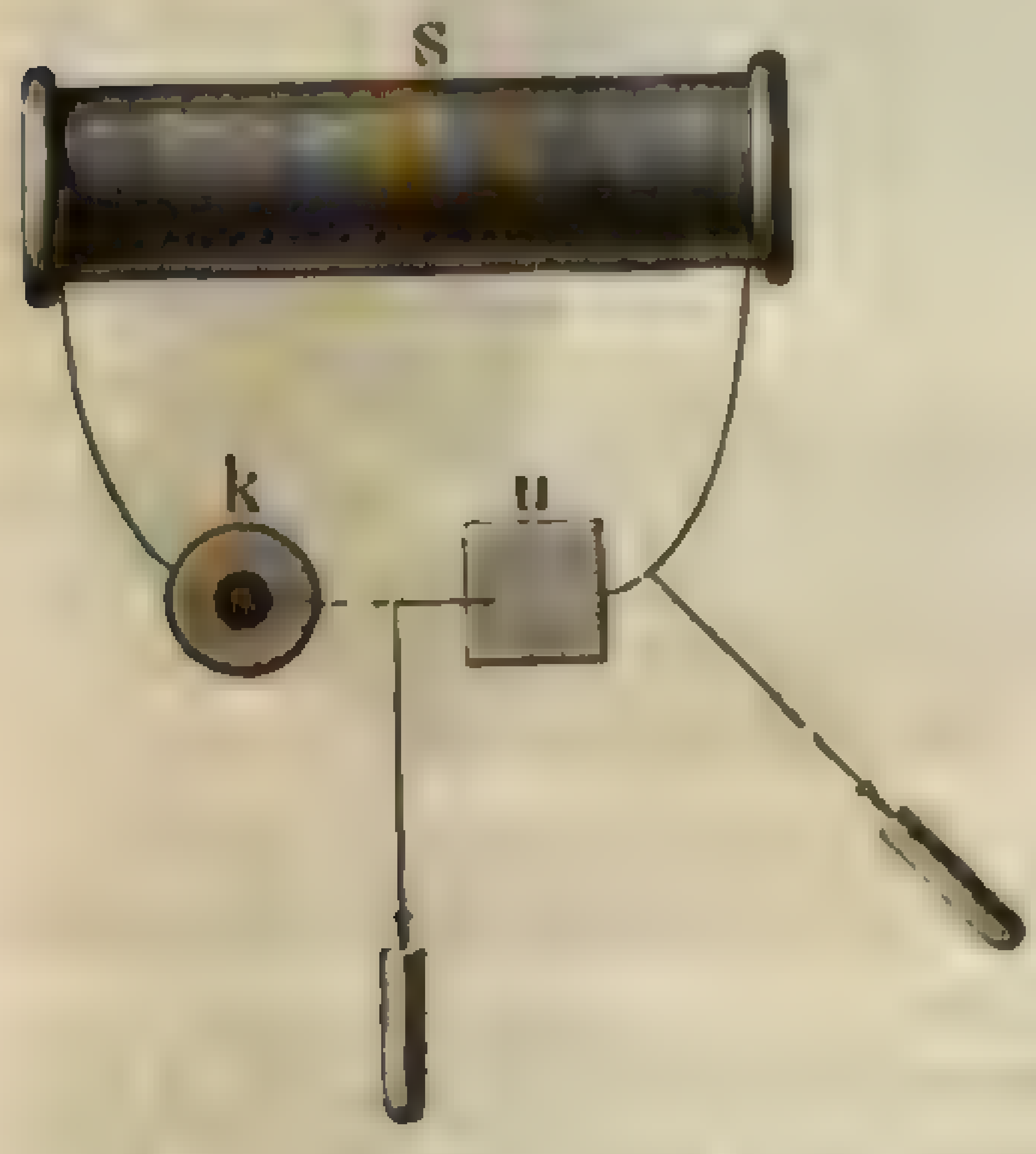
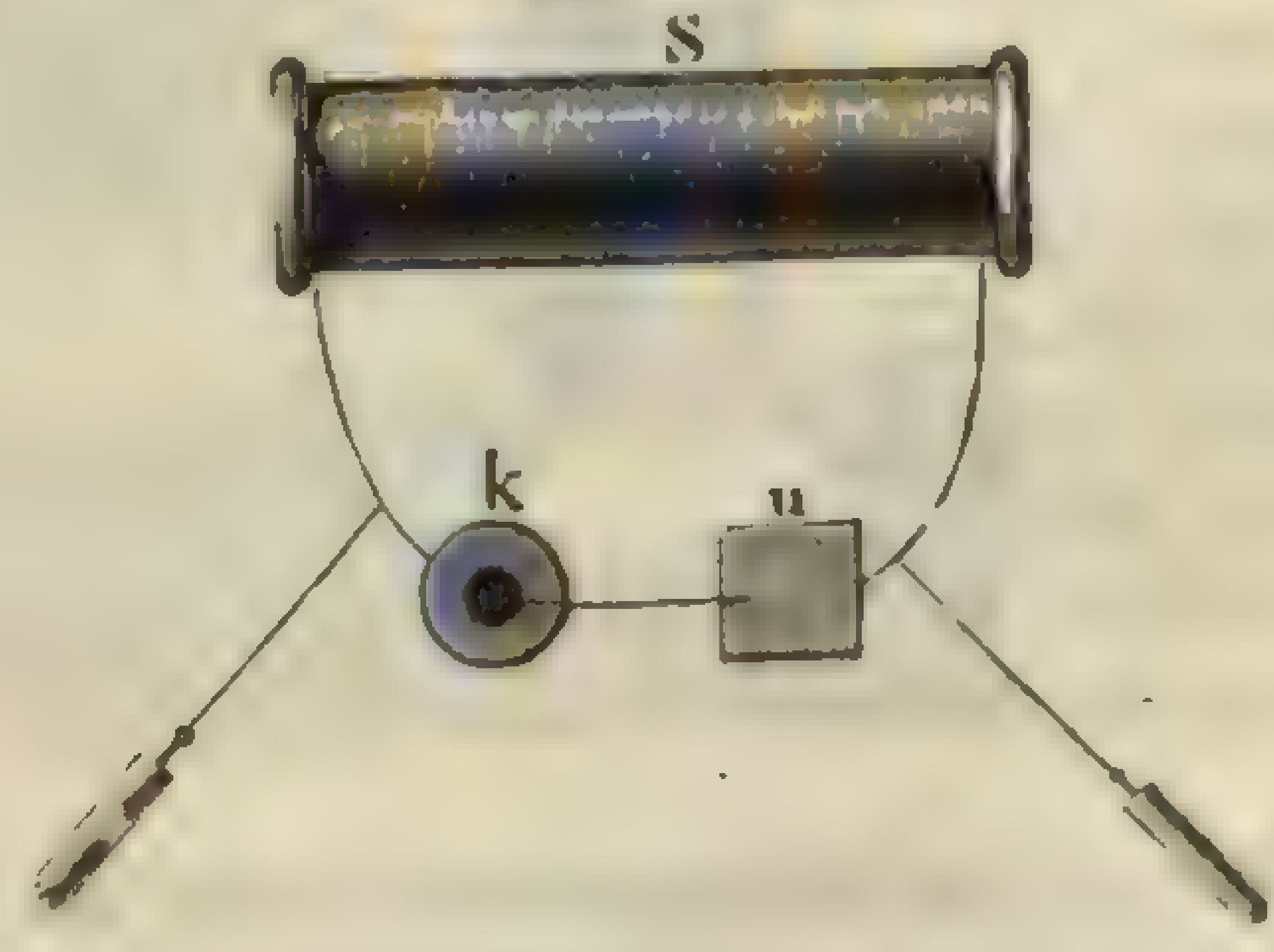


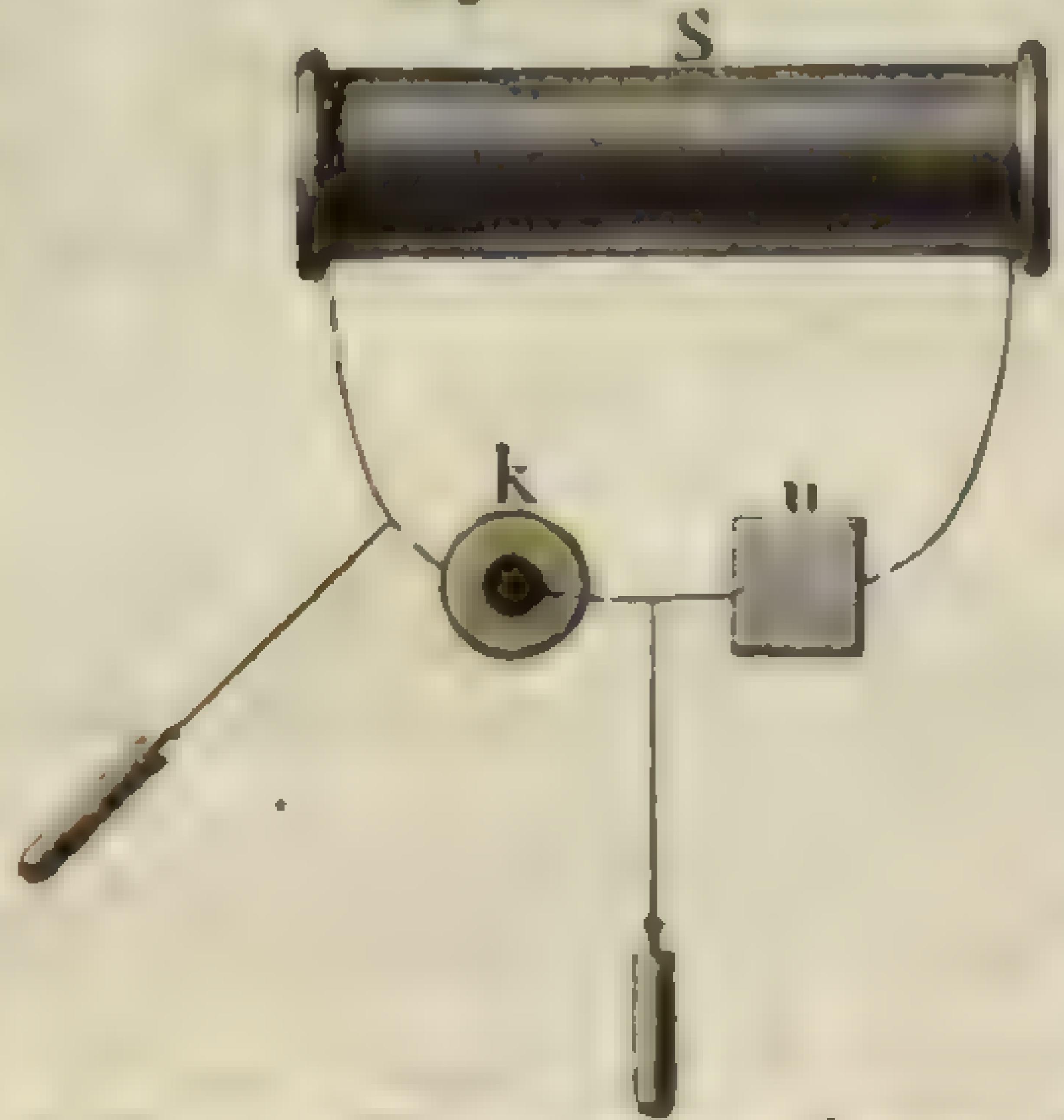
Fig. 335.



beim Verschwinden des Hauptstromes in der Spirale sich bildende Extrastrom kann also durch den Körper hindurchgehen. Dasselbe ist der Fall bei der in Fig. 335 dargestellten Anordnung; hier ist nach Unterbrechung des Hauptstromes die Spirale allein durch den Körper geschlossen, welcher den Schlag erhält; der Volta'sche Becher ist hier ausgeschaltet. Bei der Anordnung Fig. 336 (a. f. S.) endlich erhält man keinen Schlag, weil nach Unterbrechung

des Hauptstromes nur der Volta'sche Becher noch durch den Körper geschlossen ist, die den Extrastrom erzeugende Spirale aber ausgeschaltet ist.

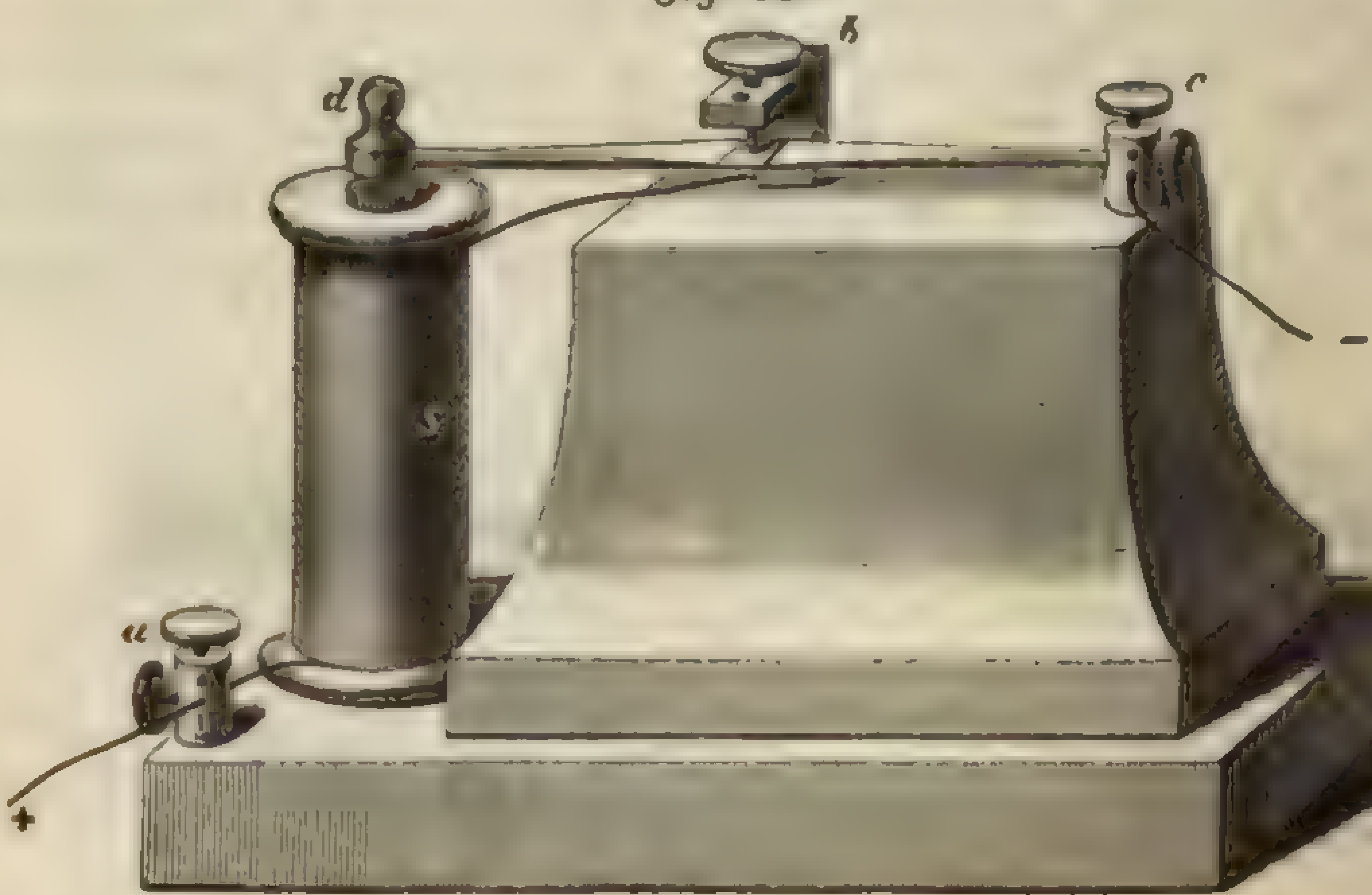
Fig. 336.



Um die Schläge des Extrastromes in rascher Aufeinanderfolge durch den Körper zu senden, muß man nur dafür sorgen, daß der Hauptstrom in rascher Aufeinanderfolge geöffnet und wieder geschlossen wird. Dies kann nun entweder auf mechanischem Wege, etwa durch das Unterbrechungsrad oder mittelst des magnetischen Hammers geschehen, wie in dem Fig. 337 abgebildeten Apparate.

S ist eine Spirale von dünnem übersponnenem Kupferdraht, welcher auf eine Hülse von Holz gewickelt ist. Die beiden Drahtenden dieser Spirale

Fig. 337.



führen zu den Messingständern *a* und *b*. Im Inneren der Holzhülse befindet sich ein Bündel von Eisendrähten.

In dem Messingsäulchen *c* ist ein federnder Kupferstreifen befestigt, dessen anderes Ende in einem kleinen Zwischenraum über dem erwähnten Drahtbündel ein eisernes Knöpfchen *d* trägt. Die Kupferfeder drückt ungefähr in der Mitte ihrer Länge schwach gegen eine von oben herabkommende Platinspitze an, welche sich am unteren Ende einer in dem Ständer *b* angebrachten Schraube befindet. Da, wo die Kupferfeder mit der Spitze in Berührung kommt, ist gewöhnlich ein kleines Platinplättchen aufgesetzt.

Der eine Pol eines Volta'schen Elementes wird nun bei *a*, der andere bei *c* eingeschraubt. Der bei *a* eintretende Strom durchläuft die Spirale *S*, ge-

langt aus derselben zum Ständer *b*, von welchem er durch die erwähnte Platinspitze auf die Kupferfeder übergeht, um von dieser nach *c* und dem anderen Pole des Elektromotors geführt zu werden.

Dieser Strom macht das Eisendrahtbündel, welches sich in der Spirale *S* befindet, magnetisch, der eiserne Knopf bei *d* wird niedergezogen und dadurch die Berührung zwischen der Platinspitze und der Kupferfeder aufgehoben, also der Strom unterbrochen; in Folge davon verliert das Eisendrahtbündel seinen Magnetismus, die Feder geht in die Höhe, der Strom wird wieder hergestellt, um sogleich wieder unterbrochen zu werden. So dauert dieses Spiel der Schließung und Oeffnung der Kette in rascher Aufeinanderfolge fort; an der Platinspitze beobachtet man dabei die Lichterscheinung, welche bereits auf Seite 232 beschrieben wurde.

Bei jeder Unterbrechung des Hauptstromes bildet sich nun in der Spirale *S* der Extrastrom, sobald eine entsprechende Nebenschließung vorhanden ist. Befindet sich der menschliche Körper in dieser Nebenschließung, so erhält er die bekannten Schläge; die Einschaltung des Körpers kann nun hier auf verschiedene Weise ausgeführt werden.

1) Die eine Handhabe ist bei *b*, die andere ist bei *c* eingesetzt. Es entspricht dies der Anordnung Fig. 334.

2) Der Anordnung Fig. 335 entsprechend, ist eine Handhabe bei *a*, die andere bei *b* eingeschraubt.

In diesen beiden Fällen erhält man die Schläge des Extrastromes, nicht aber wenn

3) die eine Handhabe bei *a*, die andere bei *c* eingesetzt ist, was der Anordnung Fig. 336 entspricht.

Faraday, welcher auch diese neue Art von Inductionsströmen entdeckte, erklärt ihre Entstehung in folgender Weise: Der elektrische Strom, welcher eine Spirale durchläuft, erzeugt in einer benachbarten parallel laufenden Drahtwindung beim Schließen der Kette einen entgegengesetzten, beim Oeffnen derselben einen gleichgerichteten Inductionsstrom; fehlt aber dieser Nebendraht, so erzeugt der Hauptstrom in seinem eigenen Leitungsdraht, indem eine Windung inducirend auf die andere wirkt, einen Inductionsstrom, und zwar einen dem Hauptstrom entgegengesetzten beim Schließen der Kette, einen gleichgerichteten beim Oeffnen derselben.

Der beim Schließen der Kette inducirte Strom kann keine merkliche Wirkung hervorbringen, weil er dem Hauptstrom entgegengesetzt ist; die vorher besprochenen Schläge rühren nur von dem beim Oeffnen der Kette inducirten Strome her, welcher mit dem Hauptstrome gleich gerichtet ist. Faraday nannte diesen im Hauptdraht selbst entstehenden Inductionsstrom den Extrastrom, zur Unterscheidung von solchen Strömen, welche in einem Nebendraht inducirt werden.

Wir wollen deshalb auch solche galvanische Erschütterungsapparate, in welchen die Schläge vom Extrastrom herrühren, wie beim Apparat Fig. 337, durch den Namen Extrastrom-Apparate von den ähnlich wirkenden Ap-

paraten mit Nebendraht unterscheiden, die wir im vorigen Paragraph kennen lernten und die man kurz Inductionsapparate nennen kann.

Die Existenz des dem Hauptstrome entgegengesetzten Extrastromes, welcher beim Schließen der Kette entsteht, hat zuerst Dove auf experimentellem Wege nachgewiesen. Am unzweideutigsten hat Edlund den Extrastrom auch zu Anfang des primären nachgewiesen. (P. A. LXXVII, 161.)

Fig. 338.



Der Apparat, den er zu diesem Zwecke anwendete, hat folgende in Fig. 338 schematisch dargestellte Einrichtung. *a* ist eine galvanische Säule, von deren Polen zwei Leitungsdrähte nach *b* und *c* führen; von hier führen wieder vier Drähte *bg*, *bh*, *cf* und *ce* zu den Drahtenden zweier Drahtlagen von übersponnenem Kupferdraht, welche ein Magnetometer umgeben und von denen jede für sich eine geschlossene Leitung von mehreren parallel neben einander liegenden Drahtwindungen bildet; *emng* stellt die äußere, *fplih* die innere Drahtlage dar. Die Verbindung ist, wie man leicht übersieht, von der Art, daß der Strom, welchen die Batterie *a* liefert, sich bei *c* und *b* theilt und die beiden Drahtlagen in entgegengesetzter Richtung durchläuft, so daß bei gehöriger Abgleichung keine Ablenkung des Magnetometers durch den primären Strom der Kette *a* entstehen kann. In unserer Figur ist der Verlauf des durch den Elektromotor *a* direct erzeugten Stromes durch die ungeflügelten Pfeile —► dargestellt.

Bei *q* war eine einfache Vorrichtung getroffen, wodurch die Kette bequem und gleichförmig geöffnet und geschlossen werden konnte. Um dem Hauptstrom eine entgegengesetzte Richtung geben zu können, war in die Leitung *cab* ein Commutator eingeschaltet. Das Magnetometer war mit einem Spiegelapparat versehen und wurde mit einem Fernrohr beobachtet, wie es bei magnetischen Beobachtungen gebräuchlich ist.

Wenn nun bei *S* eine Drahtrolle eingeschaltet wird, o muß, wenn das Gleichgewicht am Magnetometer nicht gestört werden soll, in die Zuleitung zur inneren Drahtlage, etwa zwischen *c* und *f*, ein entsprechender Widerstand eingeschaltet werden; um aber zu verhindern, daß in dieser zwischen *c* und *f* angebrachten Einschaltung ein Inductionsstrom entstände, welcher dem in *S* erzeugten, welcher untersucht werden soll, entgegenwirken könnte, so wurde dieser Einschaltungsdraht über zwei Glasstangen gewunden, welche 3 Meter weit von einander abstanden, so daß also der Draht zwischen den Glasstangen geradlinig ausgespannt war.

Wurde nun, nachdem die Widerstände so abgeglichen waren, daß die innere und äußere Drahtlage am Magnetometer sich das Gleichgewicht hielten, der Strom bei *q* unterbrochen, so bildete sich in der Spirale *S* ein Extrastrom, welcher in der Richtung circulirt, wie es die gefiederten Pfeile ⋙► andeuten,

welcher also, die innere und die äußere Drahtlage in gleicher Richtung durchlaufend, den Magnetometerstab ablenken muß.

Wird die Kette wieder geschlossen, so muß das nämliche Verhältniß stattfinden, d. h. es wird auch jetzt der bei der Schließung in S inducirte Extrastrom die beiden Drahtlagen in gleicher (den gefiederten Pfeilen entgegengesetzter) Richtung durchlaufen, es findet gegen den vorigen Fall nur der Unterschied Statt, daß ein Theil des Inductionsstromes durch die Leitung *cab* strömt.

Bei Anstellung der Versuche ergab sich nun, daß der Ausschlag des Magnetometers beim Schließen der Kette gleich und entgegengesetzt war demjenigen, welcher beim Oeffnen entsteht, und daraus ergiebt sich, daß wenn im Schließungsbogen eines galvanischen Rheomotors eine Drahtspirale eingeschaltet ist, beim Schließen der Kette sowohl wie beim Oeffnen derselben durch die Einwirkung jedes Stromtheils auf die benachbarten Windungen Ströme inducirt werden, welche unter sonst gleichen Umständen in beiden Fällen gleiche Stärke haben.

Verstärkung der Inductionsströme durch Eisen. Schiebt man in 115
die Höhlung einer Inductionsspirale weiches Eisen ein, so wird dadurch die Wirkung bedeutend erhöht. Für die physiologischen Wirkungen ist es jedoch keineswegs gleichgültig, in welcher Gestalt das Eisen eingeschoben wird, denn die Schläge werden, wie Sturgeon zuerst beobachtete, durch ein Bündel von Eisendrähten bedeutend mehr verstärkt, als durch einen massiven Eisenstab.

Die verstärkende Wirkung eines Bündels von Eisendrähten äußert sich sowohl bei Inductionsströmen, welche in einem Nebendraht inducirt werden, als auch beim Extrastrom. Die kräftige Wirkung, welche der Fig. 337 abgebildete Neef'sche Apparat selbst bei geringen Dimensionen giebt, rührt großentheils von dem in der Höhlung der Spirale steckenden Eisendrahtbündel her.

Faraday erklärt die verstärkende Wirkung des weichen Eisens überhaupt auf folgende Weise: Wenn sich innerhalb der Spirale ein Eisenstab befindet, so verschwindet beim Oeffnen der Kette gleichzeitig mit dem Hauptstrom auch der durch denselben hervorgerufene Magnetismus; das Verschwinden des Magnetismus wirkt aber wie das Verschwinden von elektrischen Strömen; der verschwindende Magnetismus inducirt gleichfals einen mit dem verschwindenden Hauptstrom gleichgerichteten Strom, und daher rührt die Verstärkung durch das Eisen.

Diese Erklärung bedarf nun, wie Magnus nachweist, noch einer Ergänzung, wenn sie auch die noch bedeutendere Wirkung der Eisendrahtbündel umfassen soll. Der verschwindende Hauptstrom inducirt nämlich auch gleichgerichtete Ströme in der Masse des Eisens, wodurch dem Verschwinden des Magnetismus entgegengewirkt und die verstärkende Wirkung desselben geschwächt wird. Alles, was die Bildung dieser Ströme in der Eisenmasse hindert, wird also natürlich auch die Wirkung des verschwindenden Magnetismus erhöhen müssen; da nun in einem Drahtbündel die durch das Verschwinden des Hauptstromes inducirten Ströme nicht so ungehindert sich bilden können wie im mas-

siven Eisen, so ist klar, daß der Effect des verschwindenden Magnetismus des Drahtbündels auch nicht durch diese Ströme vermindert wird, wie dies beim massiven Eisen der Fall ist.

Wenn das Eisendrahtbündel mit einer Hülle umgeben ist, die aus einem nicht magnetischen Metall besteht, so wird der verschwindende Magnetismus der Eisenstäbchen zunächst seine inducirende Wirkung auf seine metallische Hülle äußern und nicht auch auf die Spirale, weshalb in diesem Falle das Drahtbündel kaum so viel wirkt wie ein massiver Eisenstab.

Ein spiralförmig gewundenes Eisenblech, dessen Querschnitt keinen in sich geschlossenen Leiter bildet, wirkt in gleicher Weise verstärkend wie ein Bündel Eisendrähte.

116 **Inducirte Ströme, welche bei galvanometrischer Gleichheit ungleich physiologisch wirken.** Der galvanometrische Effect eines Stromes ist der chemischen Wirkung stets proportional. Anders verhält es sich, wie Dove durch gründliche Untersuchungen nachgewiesen hat, mit den physiologischen Wirkungen. Für Maschinen-Elektricität hatte man längst einen solchen Unterschied gefunden, denn der die Nerven heftig erschütternde Schlag der Leidner Flasche vermag nicht die Magnetnadel abzulenken; er erlangt diese Eigenschaft erst dadurch, daß man die Entladung verzögert, etwa durch Einschaltung einer nassen Schnur, wodurch aber die physiologische Wirkung verschwindet.

Aehnliche Verhältnisse stellen sich nun auch bei Strömen anderer Elektricitätsquellen heraus. Die gewöhnlichen galvanischen Ströme, mächtig auf die Magnetnadel wirkend, sind nicht im Stande, starke physiologische Wirkungen hervorzubringen, während die Inductionsströme bei unbedeutendem galvanometrischen Effect heftige Zuckungen veranlassen.

Vorßelmann de Heer berichtet von einer Inductionsspirale, welche heftige Schläge gab, ohne einen merklichen galvanometrischen Effect zu geben. Auf einem hölzernen Cylinder waren 90 Fuß eines $1/_{20}$ Zoll dicken Kupferdrahtes spiralförmig aufgewickelt, über diese Spirale aber eine zweite, bestehend aus einem 1500 Fuß langen Kupferdraht von $1/_{90}$ Zoll Durchmesser. Die erste Spirale bildet den Schließungsdraht der Kette, die letztere den Inductionsdraht. Schloß man diese Inductionsspirale durch den Körper, so erhielt man einen wahrhaft unerträglichen Schlag, so oft der die innere kürzere Spirale durchlaufende Strom unterbrochen wurde. Schaltete man aber zwischen den Drahtenden der Inductionsspirale statt des menschlichen Körpers ein Galvanometer ein, so wich die Nadel desselben nicht von der Stelle, wenn der Hauptstrom unterbrochen wurde. (P. A. XLVI, 530.)

Aus einer Verstärkung der physiologischen Effecte läßt sich also durchaus nicht auf eine vermehrte galvanometrische Wirkung schließen, und so hat denn auch Dove nachgewiesen, daß die kräftigeren Schläge, welche durch Anwendung von Drahtbündeln statt massiver Eisenkerne hervorgebracht werden, keineswegs von einer Verstärkung des Stromes herrühren. (P. A. XLIX, 72.)

Am einfachsten läßt sich dies auf folgende Art zeigen. Man schließe die

Nebenspirale durch einen Multiplicator und beobachte die Ablenkung der Nadel, wenn der Hauptstrom geschlossen, oder wenn er unterbrochen wird für die Fälle, daß bald Nichts, bald ein massiver Eisenstab oder ein Drahtbündel in die Höhlung der Spirale eingeschoben ist. Bei einer solchen Versuchsreihe erhielt ich folgende Ablenkungen der Multiplicatornadel:

Ohne Einschiebung	6,5°
Mit einem Bündel dünner Eisendrähte (1^{mm} dick, gefirnißt)	45
Mit einem Bündel dicker Eisendrähte (1 Linie dick, gefirnißt)	48
Mit einem massiven Eisenkern	63

Der Hauptstrom war durch ein kleines Daniell'sches Element erzeugt worden. Bei rasch auf einander folgenden Schließungen und Oeffnungen des Hauptstromes waren ohne Einschiebung die Schläge, selbst bei befeuchteten Händen, nicht über das Handgelenk fühlbar; nach Einschiebung des massiven Eisenstabes ging der Schlag in der eben angedeuteten Stärke durch 2 Personen, nach Einschiebung des Bündels dickerer Drähte durch 4, während das Bündel dünner Drähte die Schläge in gleicher Stärke in einer Kette von 5 Personen fühlbar machte.

Zehn der dünneren und fünf der dickeren Eisenstäbchen geben, in die Spirale eingeschoben, eben so starke Schläge wie der massive Eisenstab, bei physiologischer Gleichheit waren aber die galvanometrischen Wirkungen sehr ungleich, denn es war die Ablenkung des Galvanometers

für die 10 dünneren Stäbchen	28°
für die 5 dickeren Stäbchen	36°
für den massiven Eisenstab	63°

Mit einer anderen Inductionsspirale, welche aus 1800 Fuß eines nur 1^{mm} dicken Drahtes gebildet war, zeigten sich die galvanometrischen Effecte bei weitem schwächer (ohne Einschiebung von Eisen höchstens 2°, bei eingeschobenem massivem Eisenstab 20°), während die physiologischen Effecte viel kräftiger waren.

Im Magnetisiren von Stahlnadeln zeigte sich der durch die Drahtbündel, im Magnetisiren von weichem Eisen der durch den Eisenstab inducirte Strom überwiegend.

Da nun das Elektromagnetisiren des weichen Eisens einen andauernden Strom erfordert, das Magnetisiren des Stahls aber auch bei den plötzlichsten Entladungen erfolgt; da man ferner aus Versuchen mit Reibungselektricität weiß, daß durch Abgleichen eines gleich großen elektrischen Gegensatzes sehr verschiedene Wirkungen entstehen, je nach der Dauer dieses Abgleichens, indem eine rasche Entladung Schläge, eine langsame hingegen die Ablenkung des Galvanometers hervorzubringen vermag, so kann dies Resultat als ziemlich entscheidend für die Annahme gelten, daß in einem durch ein Drahtbündel inducirten Strom eine bestimmte Elektricitätsmenge

in kürzerer Zeit sich durch den Draht bewegt, als wenn dieselbe durch einen massiven eisernen Cylinder in Bewegung gesetzt wird.

Was die Geschwindigkeit betrifft, mit welcher eine gegebene Elektricitätsmenge ausgeglichen wird, so bilden also die Inductionsströme ein Mittelglied zwischen den Entladungen der Reibungselektricität und den galvanischen Strömen. Es läßt sich demnach erwarten, daß man an einer geöffneten Inductionsspirale auch stärkere Spannungserscheinungen beobachten wird, als in einer geöffneten Volta'schen Säule, wenn dieselbe nicht aus tausenden von Plattenpaaren zusammengesetzt ist.

Sinsteden hat dies in der That nachgewiesen. Seine dickdrahtige Hauptspirale war mit Wachstaffet umgeben, und darauf eine 3280 Fuß lange Inductionsspirale von $1/4$ Linie Drahtdicke aufgewickelt. In einer Glasröhre steckend, war ein Bündel Eisendrähte in die Hülse eingeschoben.

Wenn durch Drehung des Unterbrechungsrades der Hauptstrom abwechselnd geöffnet und geschlossen wurde, so sprangen zwischen den einander sehr genäherten Drahtenden der Inductionsspirale Fünkchen über; jedes der freien Enden der Inductionsspirale gab nicht nur am Elektrometer starke Elektricität kund, sondern jedes dieser Enden gab auch für sich Funken, und verursachte in Berührung mit der Haut ein empfindliches Stechen. Diese Erscheinungen wurden verstärkt, wenn das gerade nicht untersuchte Ende zum Boden abgeleitet war.

Dubois Reymond hat die Spannung an den freien Enden einer Inductionsspirale durch Zuckungen von Froschschenkeln nachgewiesen, die er unipolare Inductionszuckungen nennt.

117 **Induction elektrischer Ströme durch Magnete.** Bei den Fundamentalversuchen, welche in §. 113 besprochen wurden, läßt sich die Spirale *B*, welche den Hauptstrom leitet, durch einen Stahlmagneten oder durch Elektromagneten ersetzen. Schiebt man z. B. in die Spirale *A* einen Magnetstab ein, während die Enden der Spirale durch einen Multiplicator verbunden sind, so zeigt die Ablenkung der Nadel einen Strom an, welcher denjenigen entgegengesetzt ist, welche nach Ampère's Theorie die Moleküle des genäherten Magneten umkreisen. Bleibt der Magnet ruhig in der Spirale, so kehrt die Nadel nach einigen Schwingungen wieder zu ihrer ursprünglichen Gleichgewichtslage zurück, um einen abermaligen aber entgegengesetzten Ausschlag zu machen, wenn der Magnet wieder aus der Hülse herausgezogen wird.

Fig. 339.

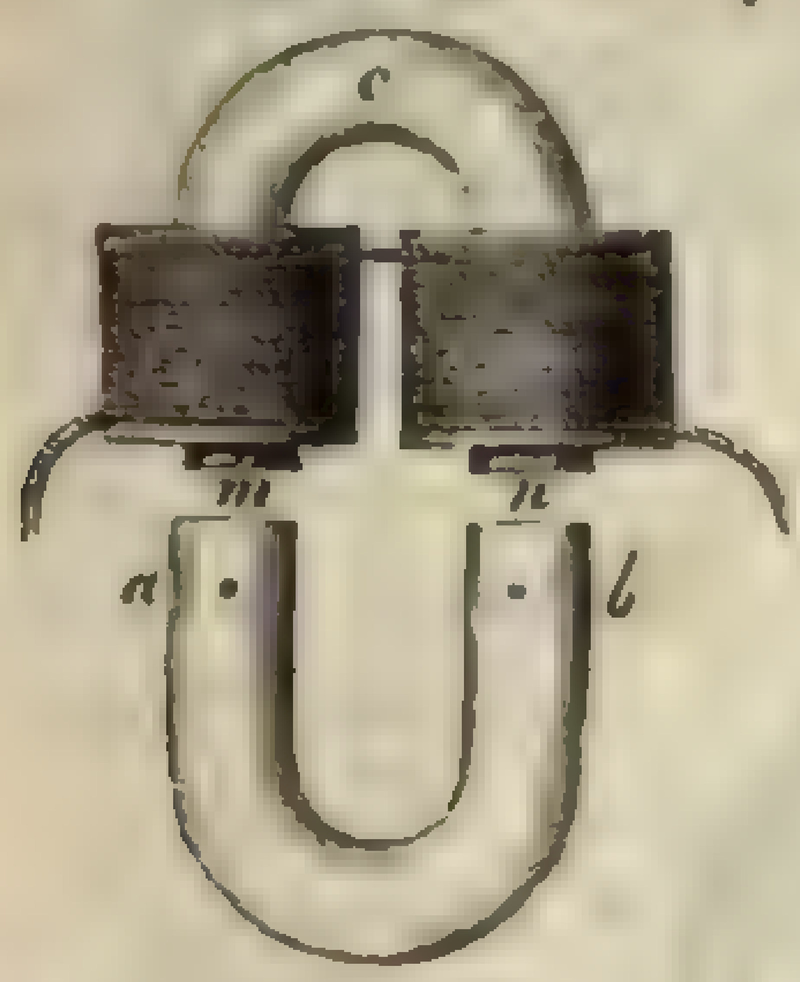


Bei diesem Versuch wird eine Wirkung auf die geschlossenen Drahtwindungen durch die Annäherung oder die Entfernung des Magneten hervorgebracht; dieselbe Wirkung kann aber auch noch auf eine andere Weise hervorgebracht werden,

nämlich dadurch, daß ein in der Spirale steckender Eisenstab abwechselnd magnetisch gemacht wird und dann wieder seinen Magnetismus verliert. Dies läßt sich auf folgende Weise zeigen.

In Fig. 340 ist *ab* ein starker Hufeisenmagnet, *mcn* ist ein Stück weiches Eisen, welches ebenfalls hufeisenförmig gebogen ist, und dessen Schenkel mit vielfachen Windungen eines und desselben sehr langen, mit Seide übersponnenen Drahtes bedeckt sind. Die Richtung der Windungen auf beiden Schenkeln muß von der Art seyn, daß, wenn ein Strom durch den Draht ginge, die beiden Schenkel entgegengesetzte Pole bildeten. Die beiden Enden des Drahtes werden nun mit den Drahtenden eines in hinlänglicher Entfernung aufgestellten, nicht sehr empfindlichen Multiplicators verbunden. Wenn man den Magneten *ab* rasch den Schenkeln des Eisenkerns *mn* nähert, so zeigt die Nadel des Multiplicators einen Strom an, welcher die entgegengesetzte Richtung von dem hat, welcher nach der Ampère'schen Theorie das weiche nun zum Magneten gewordene Eisen umkreis't. Beim Entfernen des Magneten *ab* hat der inducirte Strom gleiche Richtung wie der nun aufhörende im weichen Eisen.

Fig. 340.

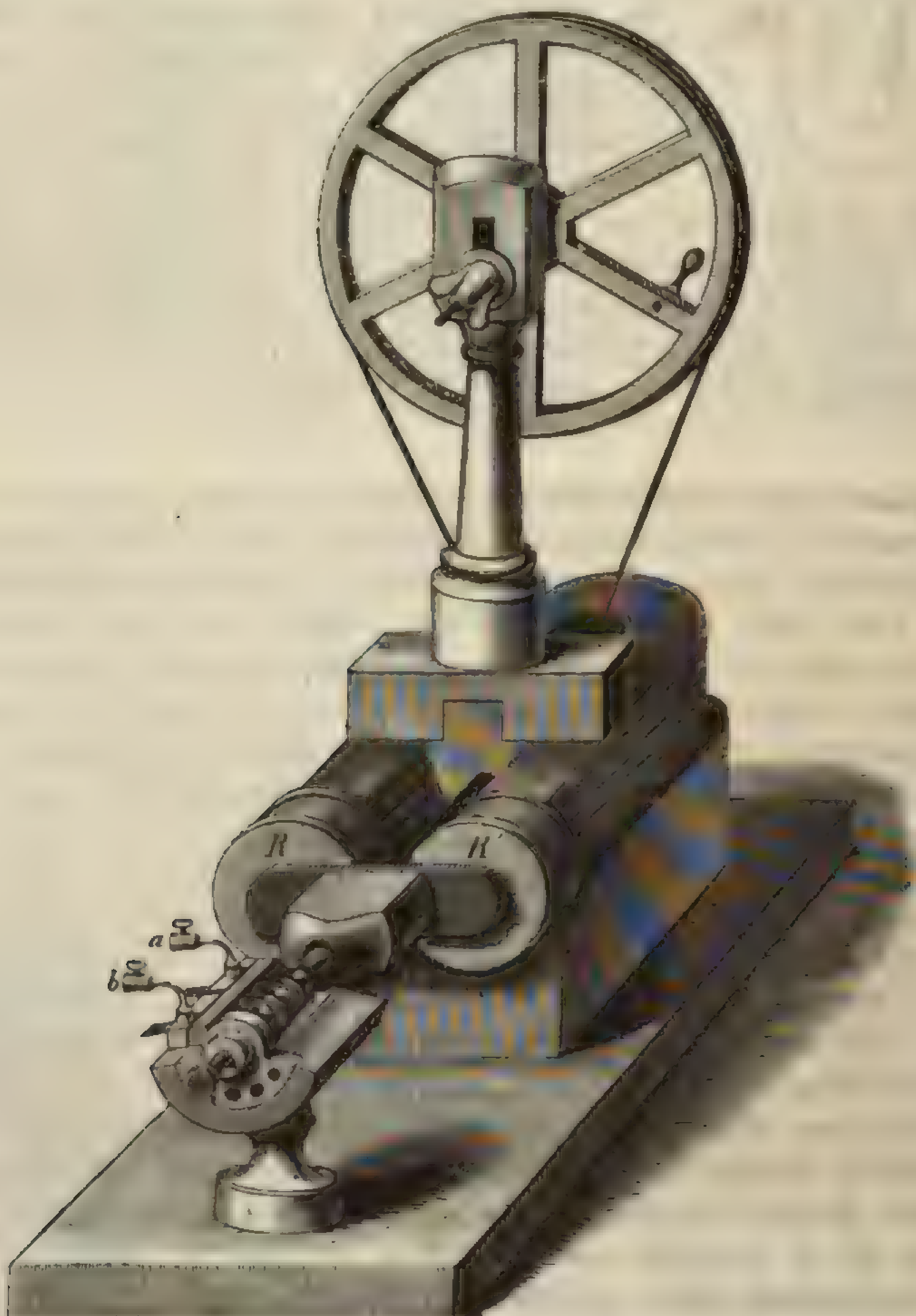


Magneto-Inductionsmaschine. Denken wir uns die Enden der so- 118
eben betrachteten Inductionsspiralen, welche sich an den beiden Polen eines hufeisenförmigen weichen Eisenkerns befinden, in leitende Verbindung gebracht, dann dieses weiche Eisen um eine vertikale Achse rasch umgedreht, so daß der Pol *m*, der sich eben über *a* befindet, nach einer halben Umdrehung über *b* steht, so wird, weil *m* sich von *a* und *n* von *b* entfernt, in den Drahtwindungen ein Strom inducirt; dieser Strom nun dauert mit veränderlicher Stärke, aber mit unveränderlicher Richtung während einer halben Umdrehung fort, nämlich während *m* von *a* bis *b* und *n* von *b* bis *a* gedreht wird; sobald aber die zweite halbe Umdrehung beginnt, ändert sich die Richtung des Stromes, um nach Vollendung einer ganzen Umdrehung abermals zu wechseln; wenn also das weiche Eisen mit seinen Drahtwindungen rasch rotirt, so werden diese Windungen beständig von alternirenden Strömen durchlaufen, die jedesmal in einander übergehen, wenn die Pole des weichen Eisens über den Polen des Magneten stehen. Daß die Richtung der Ströme wirklich in der oben angegebenen Weise wechselt, ergiebt sich leicht aus den über die Richtung der inducirten Ströme gegebenen Regeln, denn da *a* und *b* entgegengesetzte Pole sind, so muß das Entfernen von *a* einen Strom in derselben Richtung induciren wie ein Annähern gegen den Pol *b*.

Um auf bequeme Weise mit den durch Magnete inducirten Strömen Versuche anstellen zu können, hat man nach dem eben angedeuteten Princip besondere Maschinen construirt, welche den Namen der magneto-elektrischen

Rotationsmaschine oder des Magneto-Iductionsapparates führen. Die erste Maschine der Art construirte Pixii im Jahre 1832; bei dieser rotirte der Magnet und nicht das weiche Eisen mit den Inductionsspiralen. Später erfuhr dieser Apparat bedeutende Veränderungen und Verbesserungen, namentlich durch Saxton, Clarke, Ettingshausen, Petrina und Stöhrer. Bei allen den später construirten Maschinen sind die Magnete fest und die Inductionsspiralen beweglich. Fig. 341 stellt eine Stöhrer'sche Magneto-Inductionsmaschine von mittlerer Größe dar.

Fig. 341.



Der aus mehreren Lamellen zusammengesetzte Hufeisenmagnet liegt wagerecht. In der Mitte zwischen den beiden Schenkeln desselben ist die Rotationsachse angebracht, um welche sich die Inductionsspiralen drehen. Die Umdrehung dieser Achse wird durch einen Schnurlauf bewirkt, welcher von einer größeren oberhalb befindlichen Drehscheibe über eine kleinere auf der Achse sitzende Rolle geht.

Die beiden Enden dieser eisernen Umdrehungsachse laufen in Spitzen. Auf der vorderen Hälfte derselben ist eine eiserne Platte befestigt, welche, gegen die Magnetpole gekehrt, zwei Cylinder von weichem Eisen trägt, auf denen die Inductionsspiralen *R* aufgesteckt sind.

Es kommt nun darauf an, während der Rotation der Spiralen zwischen den freien Drahtenden derselben stets denjenigen Körper eingeschaltet zu erhalten, durch welchen man die Inductionsströme hindurchsenden will; dies wird nun durch eine Vorrichtung vermittelt, welche man den Commutator nennt und welche an dem vorderen Theile der Rotationsachse befestigt ist. Der Stöhrer'sche Commutator ist in Fig. 343 im Durchschnitt, Fig. 344 in perspectivischer Ansicht dargestellt; Fig. 342 zeigt, wie er auf der Achse befestigt ist und wie von ihm aus der Strom in den einzuschaltenden Körper geleitet wird.

Die Kämme sind nicht so scharfkantig wie Fig. 344, sondern abgerundet, wie Fig. 342 und 345 zeigt.

An den beiden Enden des Messingrohres *m* sind zwei Stahlkämme 2 und 3 so aufgelöthet, daß sie sich genau gegenüberliegen und die Enden derselben sich etwas

Fig. 342.

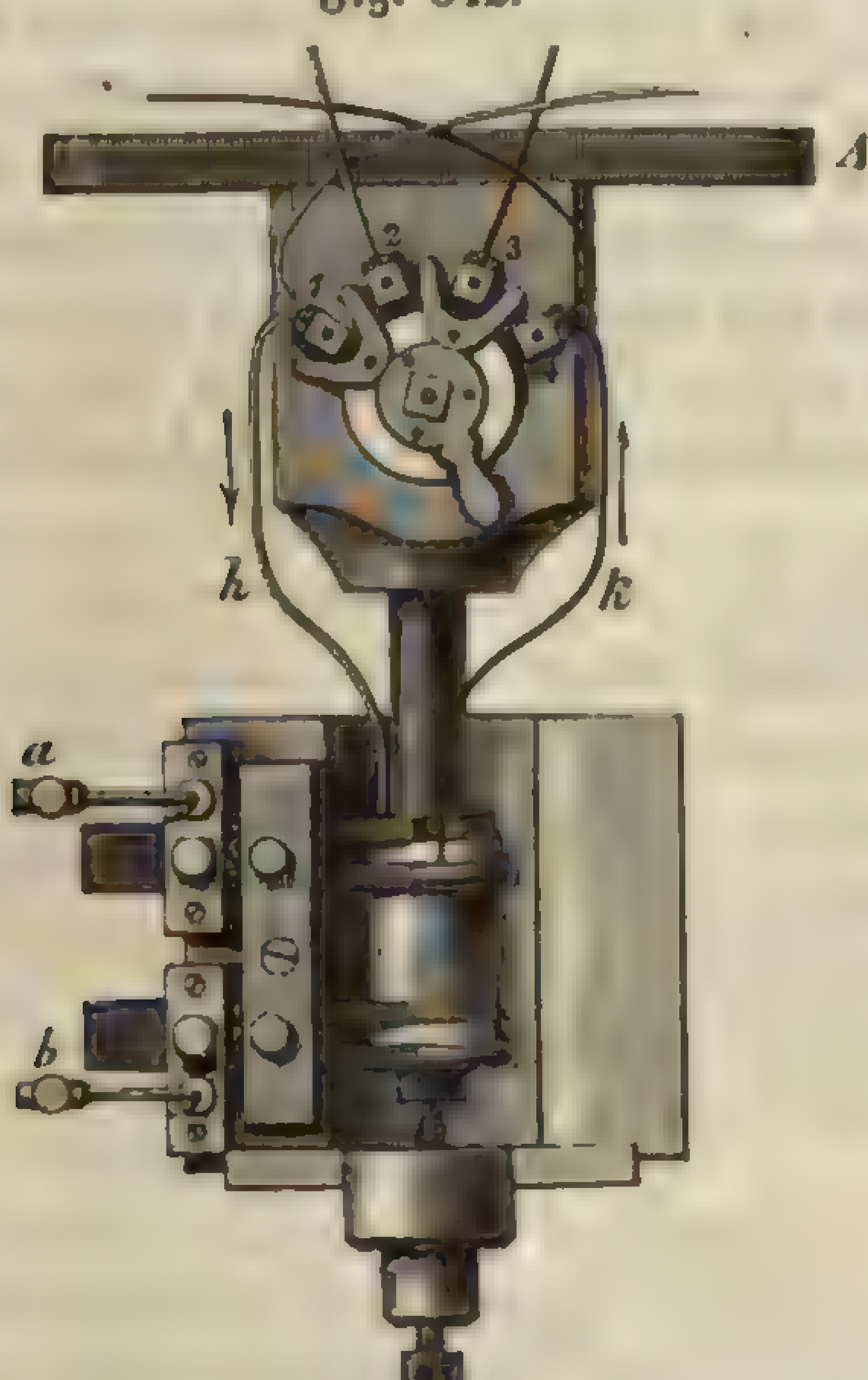


Fig. 343.

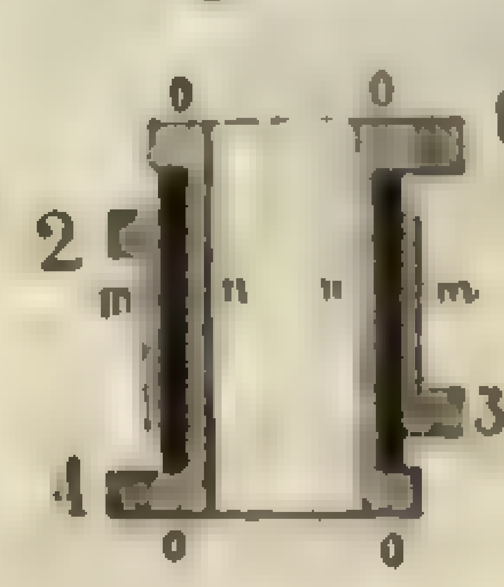


Fig. 344.



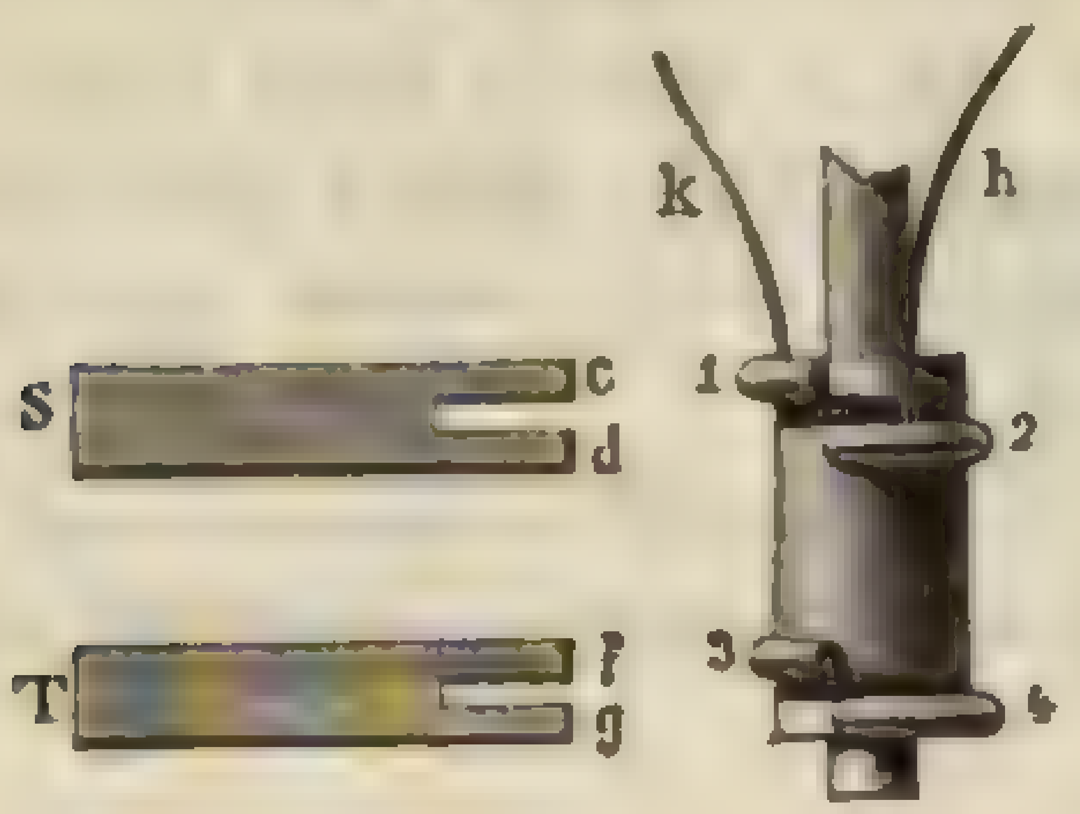
überragen. Innerhalb des Rohres *m*, von demselben durch ein dünnes Buchsbaumrohr getrennt, ist ein zweites Messingrohr, welches an beiden Enden etwas vorragt. Die Vorsprünge tragen zwei mit dem Rohre *n* aus einem Stück gedrehte Ringe *o* von gleichem Durchmesser mit der Höhlung des Rohres *m*; auf diese Ringe sind die Stahlkämme 1 und 4 den Stahlkämmen 3 und 2 correspondirend aufgelöthet, wie man dies am deutlichsten in Fig. 344 sieht.

Dieses ganze System ist auf der Umdrehungsachse befestigt.

Das eine Drahtende *k* der Spiralen führt zum Kamm 1, das andere Drahtende *h* führt zum Kamm 2.

Zwei flache dünne Stahlfedern sind an dem Gestelle der Maschine so angebracht, daß ihre vorderen geschlitzten Enden die Stahlkämme von oben leicht berühren; sie können nach Belieben mittelst einer Schraube mehr oder weniger gespannt werden.

Fig. 345.

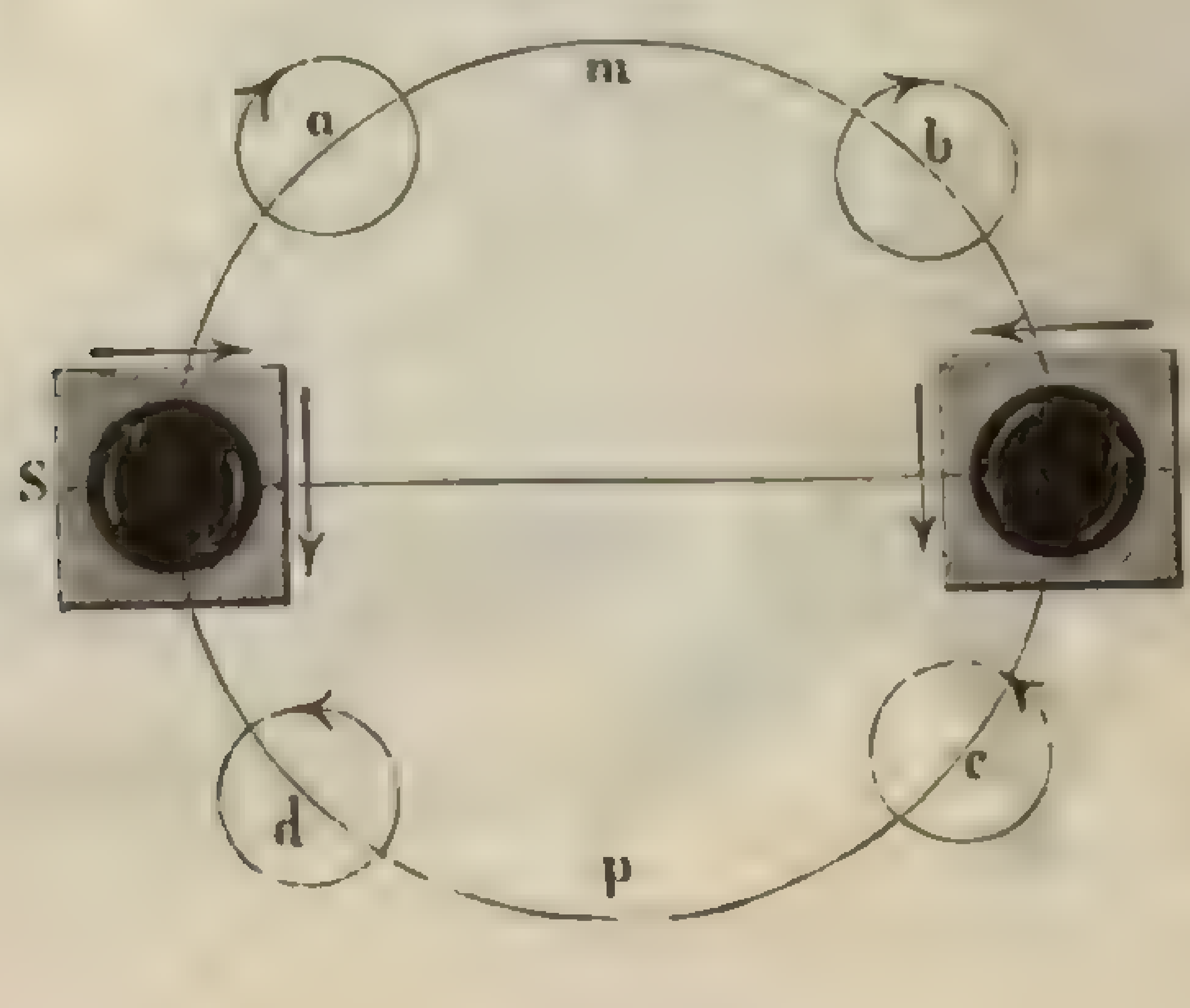


Der leichteren Uebersicht wegen sind in Fig. 345 die beiden Federn etwas von der Walze abgerückt gezeichnet. Die Feder *S* theilt sich in die Gabeln *c* und *d*; die Feder *T* theilt sich in die Federn *f* und *g*.

Mit der Feder *S* ist die Klemmschraube *a*, Fig. 242, mit *T* ist *b* in leitender Verbindung. Die Klemmschrauben *a* und *b* seyen nun auf irgend eine Weise in leitende Verbindung gebracht.

In der Stellung, welche Fig. 245 und Fig. 242 entspricht, schleift *d* auf 2, *g* auf 4, während *c* und *f* frei sind. Wenn nun aber 2 von *h* die positive Elektricität aufnimmt, während 4 mit dem negativen Drahtende *k* in leitender Verbindung steht, so circulirt der positive Strom in folgender Weise durch den Apparat: von *h* geht er durch den Kamm 2 und die Gabel *d* zur Klemm-

Fig. 346.



schraube *a*, von dieser durch den eingeschalteten Leiter nach *b*, um über *g* und den Kamm 4 zum negativen Drahtende *k* der Spiralen zu gelangen.

Dreht sich nun die Achse für einen vorne stehenden Beschauer wie der Zeiger einer Uhr, so wird alsbald der Kamm 2 die Gabel *d* und der Kamm 4 die Gabel *g* verlassen, während *c* auf 1 und *f* auf 3 zu liegen kommt; der Commutator ist nun so gestellt, daß dieser Wechsel gleichzeitig mit dem Wechsel der Stromrichtung in den Spiralen stattfindet, so daß also in diesem Moment *k* das positive und *h* das negative Drahtende der Spiralen wird; es geht also der positive Strom jetzt von *k* auf 1, von da durch *c* nach *a* u. s. w.; es wird also auch jetzt der positive Strom den zwischen den Klemmschrauben eingeschalteten Körper noch in der Richtung von *a* nach *b* durchlaufen.

Durch den Stöhrer'schen Commutator wird also bewirkt, daß der Inductionsstrom durch den zwischen *a* und *b* eingeschalteten Körper stets in gleicher Richtung hindurchgeht, obgleich die Stromrichtung in den Spiralen mit jeder halben Umdrehung sich ändert.

Wenn einer der rotirenden Eisenkerne gerade vor dem Südpol *S*, Fig. 346, des Stahlmagneten sich befindet, so werden die Ampère'schen Ströme den Eisenkern in der durch die Pfeilchen angedeuteten Richtung, also wie der Zeiger einer Uhr umkreisen. Die dadurch hervorgebrachte Polarität des Eisenkerns nimmt allmälig ab, während derselbe sich von *S* bis *m* bewegt, und dieser verschwindende Magnetismus des Eisenkerns ruft in den ihn umgebenden Drahtwindungen Inductionsströme hervor, welche mit den verschwindenden Ampère'schen Strömen des Eisenkerns gleichgerichtet sind, also Ströme, wie sie bei *a* angedeutet sind. In *m* findet ein Polaritätswechsel im rotirenden Einsenkern Statt; die neue Polarität wächst auf dem Wege von *m* bis *N*; dieser wachsende Magnetismus erzeugt aber in der Spirale Inductionsströme, welche den zunehmenden Ampère'schen Strömen des Eisenkerns entgegengesetzt sind, und also dieselbe Richtung haben, wie diejenigen, welche auf dem Wege von *S* bis *m* inducirt werden. Während der Rotation von *S* bis *N* bleibt also die Richtung der inducirten Ströme dieselbe, sie ist aber die entgegengesetzte auf dem Wege von *N* bis *S*.

Da nun die Polarität in den Eisenkernen allmälig ab- und zunimmt, so ist klar, daß sich auch die in den Spiralen inducirten Ströme nicht so momentan bilden, daß sie langsamer verlaufen, als die durch eine plötzliche Unterbrechung eines galvanischen Stromes inducirten. Diese Ströme, welche während der Rotation der Spiralen beständig, wenngleich mit veränderlicher Stärke den zwischen den Klemmschrauben *a* und *b* Fig. 341 eingeschalteten Körper durchlaufen, sind also wenig geeignet, kräftige physiologische Wirkungen hervorzubringen; dagegen bringen sie alle anderen Effecte der gewöhnlichen galvanischen Ströme hervor.

Schraubt man in die Klemmschrauben *a* und *b* die Drahtenden eines Elektromagneten ein, so wird dieser durch die Inductionsströme erregt; die Nadel einer zwischen *a* und *b* eingeschalteten Tangentenbussole zeigt, da die Ströme stets in gleicher Richtung dieselbe durchlaufen, bei einigermaßen

schneller Drehung eine constante Ablenkung. In einem zwischen *a* und *b* eingeschalteten Voltameter findet Wasserzersetzung Statt, und zwar wird das Sauerstoffgas stets an der einen, das Wasserstoffgas stets an der anderen Platte ausgeschieden. Der Strom einer magneto-elektrischen Rotationsmaschine kann, wenn derselbe kräftig genug ist, einen dünnen Metalldraht glühend machen u. s. w.

Will man mit dem Rotationsapparat physiologische Schläge hervorbringen, so muß für eine momentane Unterbrechung des Hauptstromes gesorgt seyn. Dies geschieht beim Stöhrer'schen Commutator dadurch, daß die Kämme etwas übereinandergreifen, wie dies in Fig. 344 etwas übertrieben gezeichnet ist. Dadurch wird bewirkt, daß bei jeder halben Umdrehung einmal auf ganz kurze Zeit alle 4 Kämme des Commutators an den Federn schleifen, so daß für diese Zeit der Strom direct durch die Federn geschlossen ist und kein Strom durch den Schließungsbogen geht, welcher zwischen den Klemmschrauben *a* und *b*, Fig. 342, eingeschaltet ist. Dieser also im Apparat selbst zurückkehrende Strom ist ziemlich stark, weil er außer dem Leitungswiderstand in den Spiralen keinen Leitungswiderstand im Schließungsbogen zu überwinden hat, und in dem Augenblicke, wo nun zwei Kämme ihre Federn verlassen, wo also dieser directe Strom unterbrochen wird, entsteht in Folge dieser Stromunterbrechung in den Spiralen ein Extrastrom, welcher in dem zwischen *a* und *b* mittelst Handgriffen eingeschalteten menschlichen Körper einen heftigen Schlag hervorbringt. Diesen Schlag erhält also der Körper zweimal bei jeder Umdrehung der Rotationsachse.

Die Unterbrechung des im Apparat selbst zurückkehrenden Stromes giebt sich auch durch einen kräftigen an der Unterbrechungsstelle auftretenden Funken zu erkennen.

Der Commutator ist so gestellt, daß zwei Kämme immer in demselben Moment die Federn verlassen, in welchem die Eisenkerne gleichsam von den Polen des Elektromagneten abreißen.

Die Einrichtung der Spiralen ist verschieden, je nachdem man verschiedene Wirkungen damit hervorbringen will. Ist im Schließungsbogen ein großer Leitungswiderstand zu überwinden, so müssen die Spiralen aus vielen Windungen eines dünnen Drahtes gebildet seyn; dies ist z. B. der Fall bei Inductoren, welche dienen sollen, um starke physiologische Effecte zu geben. Mit solchen dünndrahtigen Inductoren bringt man aber einen dünnen Metalldraht, welcher in dem Schließungsbogen eingeschaltet ist, nicht ins Glühen; dazu ist ein Strom von größerer Quantität nöthig, wie er erhalten wird, wenn die Spirale aus wenigen Windungen eines dickeren Drahtes gebildet ist.

Je nachdem ein Inductor aus dünnem oder dickem Draht gebildet ist, nennt man ihn einen **Intensitätsinductor** oder einen **Quantitätsinductor**.

Bei manchen Maschinen ist die Einrichtung getroffen, daß man nach Belieben einen Quantitäts- oder einen Intensitätsinductor einsetzen kann. Denselben Zweck, welchen man durch Vertauschung der Inductoren erreicht, kann

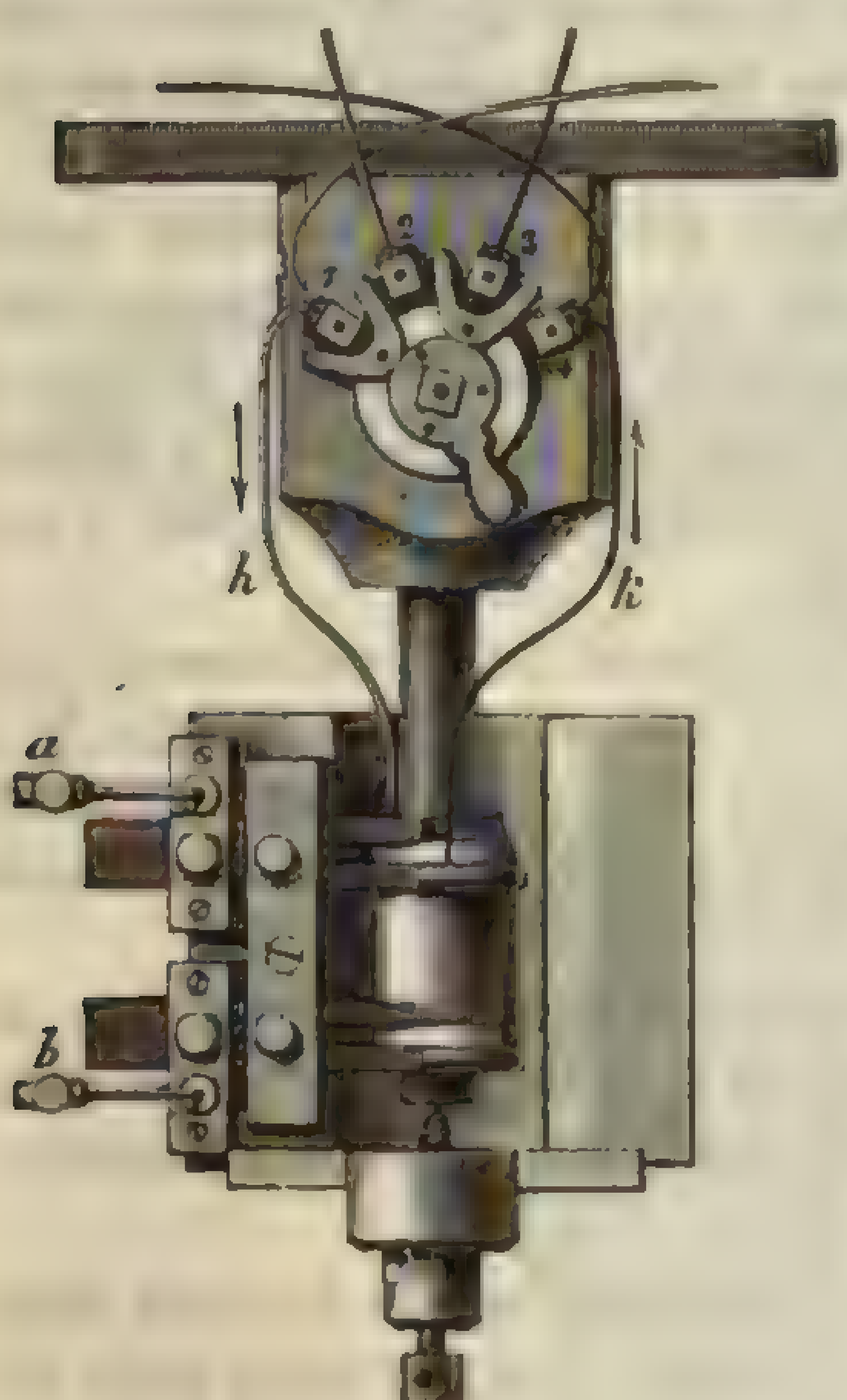
man auch durch eine Vorrichtung erreichen, welche erlaubt, die beiden Spiralen auf verschiedene Weise zu combiniren. Eine solche Vorrichtung führt den Namen Pachytrop. Betrachten wir denselben etwas näher.

Jede der beiden rotirenden Spiralen bildet für sich einen Elektromotor, man kann also die beiden Spiralen in gleicher Weise wie zwei Volta'sche Becher gleichsam hinter einander zu einer Säule von zwei Elementen, oder neben einander zu einem einzigen Elemente vereinigen, dessen Leitungswiderstand nur halb so groß ist, als der einer einzelnen Spirale.

Der Pachytrop, welchen Stöhrer an seinen mittelgroßen Maschinen anbringt, hat folgende aus Fig. 347 zu ersehende Einrichtung.

Es stellt AA die eiserne Platte dar, welche die eisernen Kerne der beiden Drahtrollen trägt und durch deren Mitte die Rotationsachse des ganzen Apparates geht; an derselben ist, dem Commutator zugewendet, ein auf zwei Seiten abgeflachtes Stück Holz befestigt, welches auf der einen Seite die fragliche Vorrichtung trägt.

Fig. 347.



Auf der Holzfläche sind zunächst 4 Kupferplättchen befestigt, welche in Fig. 347 mit 1, 2, 3 und 4 bezeichnet sind. An 1 und 2 sind zwei gleichnamige Drahtenden der beiden Drahtspiralen befestigt, die beiden anderen Drahtenden bei 3 und 4. Nehmen wir z. B. an, das von der Spirale rechts kommende Drahtende, welches bei 1 befestigt ist, sey für einen bestimmten Moment positiv, so ist dasjenige Drahtende der linken Spirale, welches gleichzeitig positiv ist, in 2 befestigt. — Das bei 4 befestigte Drahtende führt zur linken, das bei 3 befestigte Drahtende führt zur rechten Spirale; diese beiden sind in dem eben besprochenen Momente negativ.

Von 1 führt ein Kupferdraht zum ersten, von 4 ein anderer zum zweiten halbkreisförmigen Kamme des Commutators.

Die vier Kupferstückchen 1, 2, 3 und 4 liegen auf dem Umfang eines Kreises, in dessen Mittelpunkt eine um denselben drehbare Elfenbeinscheibe befestigt ist; diese trägt zwei von einander isolirte Gabeln von Kupfer, welche in unserer Figur in solcher Stellung gezeichnet sind, daß ihre Arme nicht auf die Kupferstückchen fallen. Bei solcher Stellung sind die Spiralen gar nicht geschlossen; bei der Umdrehung der Rotationsachse kann man also auch keinerlei Stromwirkung erhalten.

Nun aber werde die Elfenbeinscheibe so gedreht, daß 1 und 2 durch die eine, 3 und 4 durch die andere Gabel verbunden sind. Der positive Strom der Spirale rechts kommt jetzt direct nach 1, der positive Strom der Spirale links kommt über 2 durch die Gabel gleichfalls nach 1, der Draht *h* führt also die positiven Ströme beider Spiralen dem ersten Kamme des Commutators zu, während er nachher durch den Draht *k* nach 4 gelangt, um sich hier zu theilen, indem er von 4 direct zur linken und durch die zweite Gabel über 3 zur rechten Spirale gelangt. Der Strom, welcher den Schließungsbogen durchläuft, geht also zur Hälfte durch die eine, zur Hälfte durch die andere Spirale.

Betrachtet man jede Spirale als einen Elektromotor, so sind hier gleichsam die beiden Elektromotoren neben einander combinirt; die elektromotorische Kraft ist dieselbe, der Widerstand ist halb so groß, als für eine Spirale allein.

Diese Combination ist anzuwenden, um stärkere Ströme im Schließungsbogen von verhältnißmäßig geringem Widerstande zu erhalten.

Wird die Elfenbeinscheibe so gedreht, daß 2 und 3 durch eine Gabel leitend verbunden werden, so muß der Strom beide Spiralen hinter einander durchlaufen. Der positive Strom, welcher durch *k* bei 4 eintritt, geht von da in die Spirale links; nachdem er diese durchlaufen hat, gelangt er über 2 durch die Gabel nach 3, um die Spirale rechts zu durchlaufen und dann über 1 und *h* zum Commutator zu gelangen.

Für diese Combination sind also gewissermaßen die beiden elektromotorischen Elemente zur Säule verbunden, man hat die doppelte elektromotorische Kraft und den doppelten Widerstand einer einzigen Spirale, die elektromotorische Kraft ist also doppelt, der Widerstand 4mal so groß als für die zuerst genannte Combination.

Diese Combination der Spiralen ist in solchen Fällen zu wählen, wo ein größerer Widerstand in den Schließungsbogen eingeschaltet ist; bei dieser Stellung der elfenbeinernen Scheibe erhält man deshalb die stärksten physiologischen Wirkungen.

Stöhrer hat größere Rotationsapparate mit drei aufrecht stehenden Magneten und sechs Inductionsrollen construirt, welche gleichfalls durch einen Pachytrop, welcher aber natürlich complicirter ist, auf verschiedene Weise combinirt werden können.

Der schon oben beschriebene Apparat Fig. 348 kann auch zur Hervorbringung von Inductionsströmen gebraucht werden. Zu diesem Zwecke

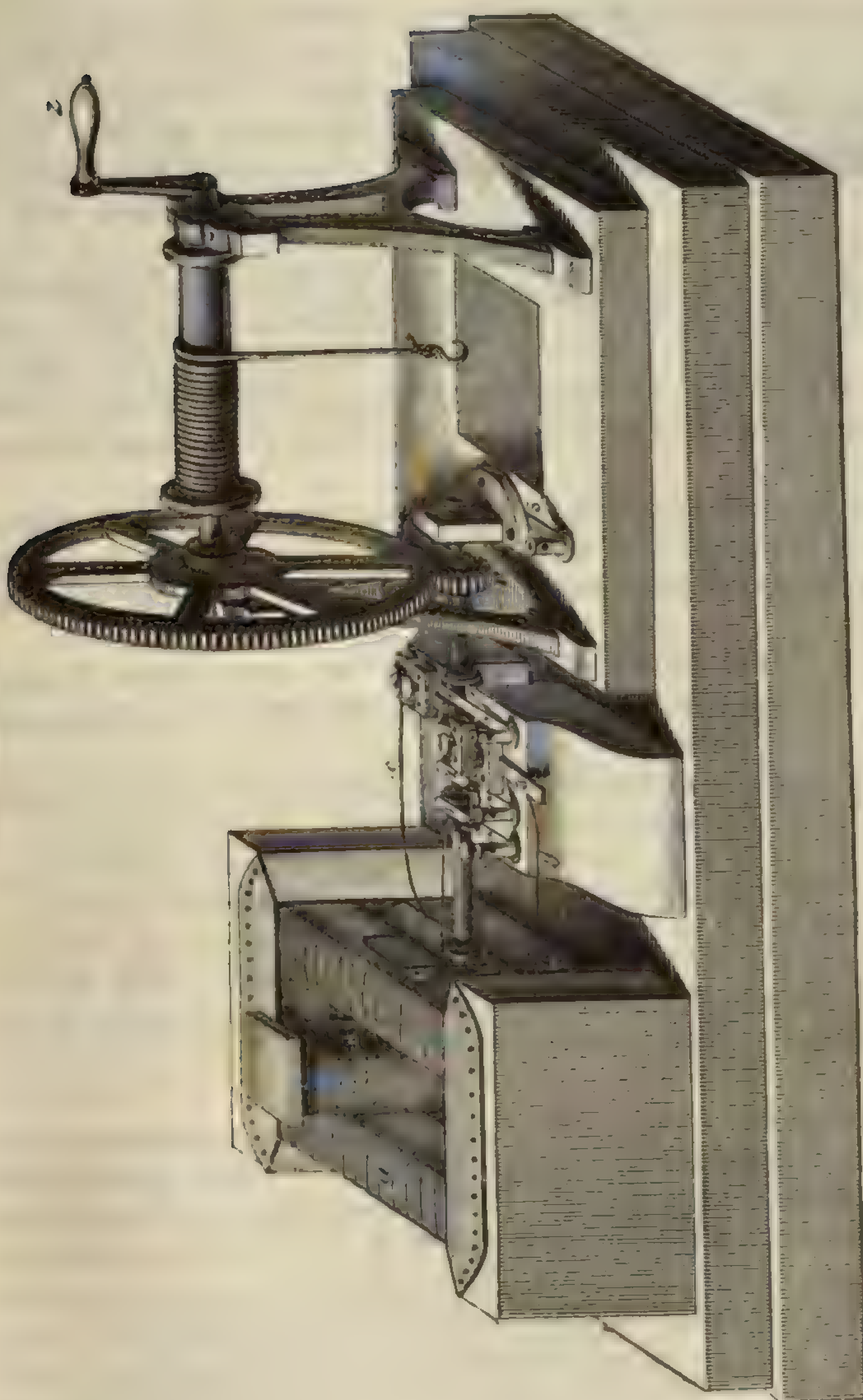
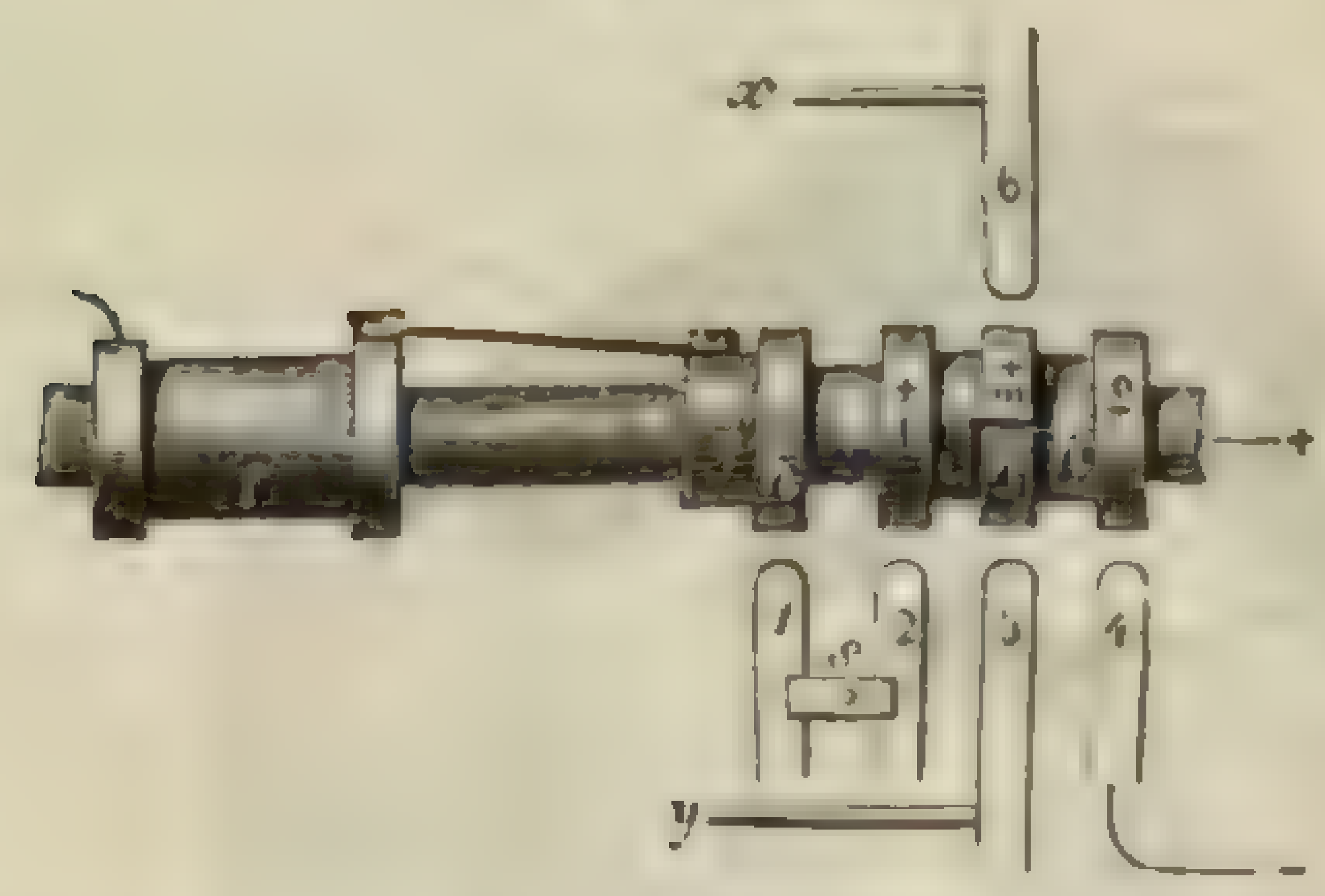


Fig. 348.

stellt man nur die Verbindungsbügel *s*, Fig. 349, parallel mit den Federn 1 und 2, so daß keine metallische Verbindung zwischen 1 und 2 besteht; der negative Poldraht wird nun in das Säulchen der Feder 1 eingeschraubt. Der Strom tritt nun durch die Feder 5 ein, durchläuft die Windungen des Elektromagneten und tritt durch die Feder 1 aus, ohne in die Windungen der Rahmen eintreten zu können. Wird nun der Elektromagnet mit Hülfe der Kurbel *z* umgedreht, so entsteht in den Windungen der Rahmen ein Inductionsstrom, sobald die Säulchen der Federn 2 und 4 in leitende Verbindung gebracht werden.

Fig. 349.



Da dieser Inductionsstrom durch den Commutator *mn* geht, so erhält man ihn gleich commutirt, d. h. stets in gleicher Richtung und nicht bei jeder Umdrehung einmal richtungswechselnd, wie er in den Spiralen ursprünglich entstand.

Dieser Inductionsstrom ist stark genug, um einen dünnen Platindraht ins Glühen zu bringen. Beim Schließen und Oeffnen des Inductionsstromes entstehen Funken.

Wenn die Spiralen der Rahmen nicht geschlossen sind, so kann natürlich auch kein Strom in denselben inducirt werden. Hängt man nun ein Gewicht an die Schnur, so rotirt der Elektromagnet mit einer gewissen Geschwindigkeit, welche sogleich abnimmt, wenn man durch metallische Verbindung der Säulchen 2 und 4 die Rahmenspirale schließt, ein Beweis, daß der inducirte Strom hemmend auf die Rotation des Magneten wirkt. Diese Hemmung wird um so merklicher, je schneller die Rotation ist. Von diesen inducirten Strömen war bereits in §. 99 die Rede.

119 **Vergleichung der magneto-elektrischen Rotationsmaschinen mit anderen Elektromotoren.** Weber hat es zuerst versucht, genaue Messungen mit magneto-elektrischen Rotationsmaschinen anzustellen und ihre Wirkungen auf absolutes Maaß zu reduciren (P. A. LXI, 431). Die Weber'sche Methode läßt sich aber auch bei anderen Einheiten und mit anderen Instrumenten in Anwendung bringen, durch welche die Versuche leichter anzustellen und die Resultate leichter zu übersehen sind; kurz, man kann die Constanten, von welchen die Stärke des Stromes einer magneto-elektrischen Rotationsmaschine abhängt, in derselben Weise bestimmen, wie die Constanten eines Volta'schen Elementes, vorausgesetzt, daß der Strom im Schließungsbogen stets gleiche Richtung hat. Weber leitete den Strom der Rotationsmaschine durch eine Drahtrolle und beobachtete, welche Ablenkung dieselbe an einem

Magnetometer hervorbrachte. Wenn es nicht auf die äußerste Genauigkeit ankommt, so kann man auch statt dieser Drahtrolle und statt des Magnetometers eine gewöhnliche Tangentenbussole in Anwendung bringen.

In den Schließungsbogen der auf Seite 359 abgebildeten Rotationsmaschine wurde die Tangentenbussole gebracht, welche früher schon zu ähnlichen Versuchen gedient hatte. Als die Spiralen neben einander combinirt waren und die Kurbel zweimal in der Secunde umgedreht wurde, war die Ablenkung der Tangentenbussole 11°; die Stromstärke war also $70 . tang. 11^0 = 70 . 0,194 = 13,58$.

Nun wurde bei sonst unveränderten Umständen ein Eisendraht eingeschaltet, dessen reducirte Länge = 61 ist. Bei gleicher Umdrehungsgeschwindigkeit war jetzt die Ablenkung 5,5°, also die Stromstärke $70 . 0,096 = 6,72$; wir haben also die Gleichungen

$$13,58 = \frac{E}{R},$$

$$6,72 = \frac{E}{R + 61},$$

woraus sich ergiebt

$$R = 60,$$
$$E = 814.$$

Combinirt man die beiden Spiralen hinter einander, so hat man, wie bereits oben erwähnt wurde, die doppelte elektromotorische Kraft und den 4fachen Widerstand. Für den Fall also, daß der Widerstand im Schließungsbogen gegen den der Spiralen vernachlässigt werden kann, wäre also die Stromstärke

$$\frac{2 . 814}{4 . 60} = 6,78 = 70 . 0,0968 = 70 . tang. 5^0 32'.$$

Als der Versuch angestellt, d. h. als eine der Tangentenbussolen ohne sonstigen merklichen Widerstand in den Schließungsbogen des Instrumentes eingeschaltet wurde, ergab sich bei der schon angeführten Umdrehungsgeschwindigkeit eine Ablenkung von 5,7°, was mit der berechneten sehr nahe übereinstimmt.

Nach diesen Versuchen wäre also der Widerstand einer solchen Inductionsspirale ungefähr gleich 120, während bei der angegebenen Umdrehungsgeschwindigkeit die elektromotorische Kraft einer Spirale 814, also nahe eben so groß ist, wie die eines Bunsen'schen Bechers.

Bei jeder Umdrehung der Kurbel macht die Rotationsachse des Inductors 7 Umdrehungen, in obigem Falle also 14 Umdrehungen in der Secunde, was 28 Polaritätswechsel in den Eisenkernen der Spiralen ausmacht.

Nach diesen Auseinandersetzungen lassen sich jetzt auch annähernd der Widerstand und die elektromotorische Kraft für die verschiedenen Combinationen der großen Stöhrer'schen Maschine berechnen, vorausgesetzt, daß die Spiralen den unsrigen gleich, und daß bei gleicher inducirender Kraft der Magnet-

pole gleichfalls 28 Polaritätswechsel in der Secunde vorkommen; sind alle 6 Spiralen neben einander combinirt, so hat man

$$R = \frac{120}{6} = 20$$
$$E = 814,$$

sind dagegen alle 6 Spiralen hinter einander combinirt

$$R = 6 \, . \, 120 = 720$$
$$E = 6 \, . \, 814 = 4884,$$

wonach man für gegebene Schließungsbogen ziemlich annähernd die Wirkungen jenes größeren Apparates berechnen kann.

Die elektromotorische Kraft der magneto-elektrischen Rotationsapparate hängt von der Umdrehungsgeschwindigkeit ab, wie dies Weber durch seine bereits citirten Messungen nachgewiesen hat. Auch mit unserer kleineren Maschine habe ich dergleichen Messungen gemacht. Als die Kurbel nur einmal in der Secunde umgedreht wurde, erhielt man $8{,}5^0$ Ablenkung; während also die Zahl der Polaritätswechsel in der Secunde von 28 auf 14 herabkam, nahm die Stromstärke nur im Verhältniß von 0,194 : 0,149 oder von 1 : 0,76 ab.

Im Allgemeinen nimmt also die elektromotorische Kraft mit der Rotationsgeschwindigkeit zu, aber nicht in gleichem Verhältniß. Ob die elektromotorische Kraft für eine bestimmte Geschwindigkeit ein Maximum erreicht, um über dieselbe hinaus wieder abzunehmen, oder ob sich die elektromotorische Kraft asymptotisch einem größten Werthe nähert, ist noch nicht ermittelt.

120 **Einwirkung bewegter Leiter auf Magnete.** Wenn man in der Weise, wie wir im Paragraph 117 gesehen haben, einer geschlossenen Inductionsspirale einen Magnetstab nähert, so werden, wie bereits dort angeführt wurde, in der Spirale Ströme inducirt, welche den Ampère'schen Strömen des genäherten Magneten entgegengesetzt sind. Nähert man etwa von oben her der Spirale den Nordpol des Magneten, so wird also das obere Ende der Spirale durch die inducirten Ströme gleichfalls zu einem Nordpol, welcher den Nordpol des Magneten abstößt, also hemmend auf die Annäherung desselben wirkt. Wird der Nordpol des Magneten zurückgezogen, so inducirt er Ströme, welche mit den seinigen gleichgerichtet sind, das obere Ende der Spirale wird zum Südpol, welcher den weggezogenen Nordpol des Stabes zurückzuhalten strebt. Mag man also den Magnetstab der Spirale nähern oder ihn von derselben zurückziehen, so werden die inducirten Ströme stets hemmend auf die Bewegung des Magneten wirken.

Am Schlusse des Paragraph 99 haben wir ein Beispiel dieser hemmenden Wirkung der Inductionsströme kennen gelernt. Eine eigentliche Annäherung und Entfernung des rotirenden Elektromagneten gegen die horizontalen Windungen des Rahmens findet hier nicht Statt; die Windungen des Elektromagneten nähern sich einmal dem Parallelismus mit den Windungen des Rahmens, und dann induciren sie entgegengesetzte Ströme in demselben; oder

sie entfernen sich wieder von diesem Parallelismus, wo dann gleichgerichtete Ströme im Rahmen inducirt werden. Die Wechselwirkung zwischen den Strömen des rotirenden Elektromagneten und den von ihm inducirten Strömen im Rahmen erklärt vollständig die oben besprochene Hemmung der Rotation.

Denken wir uns eine Magnetnadel von einem kupfernen Bügel umgeben, wie dies Fig. 350 angedeutet ist, so wird die Nadel, wenn man sie in Bewegung setzt, im Kupferbügel Ströme induciren, welche hemmend auf diese Bewegung wirken; setzt man z. B. die Nadel in Schwingung, so wird sie viel rascher wieder zur Ruhe kommen, als wenn der kupferne Bügel nicht vorhanden wäre. Darauf gründet sich die Anwendung der kupfernen Dämpfer, mit denen man die Magnetometerstäbe umgiebt. Eine Magnetnadel, welche über einer kupfernen Scheibe oscillirt, inducirt auch in dieser Ströme, welche sie bald zur Ruhe bringen; man wendet deshalb bei Multiplicatoren kupferne Scheiben an, um die Nadel bald zu beruhigen.

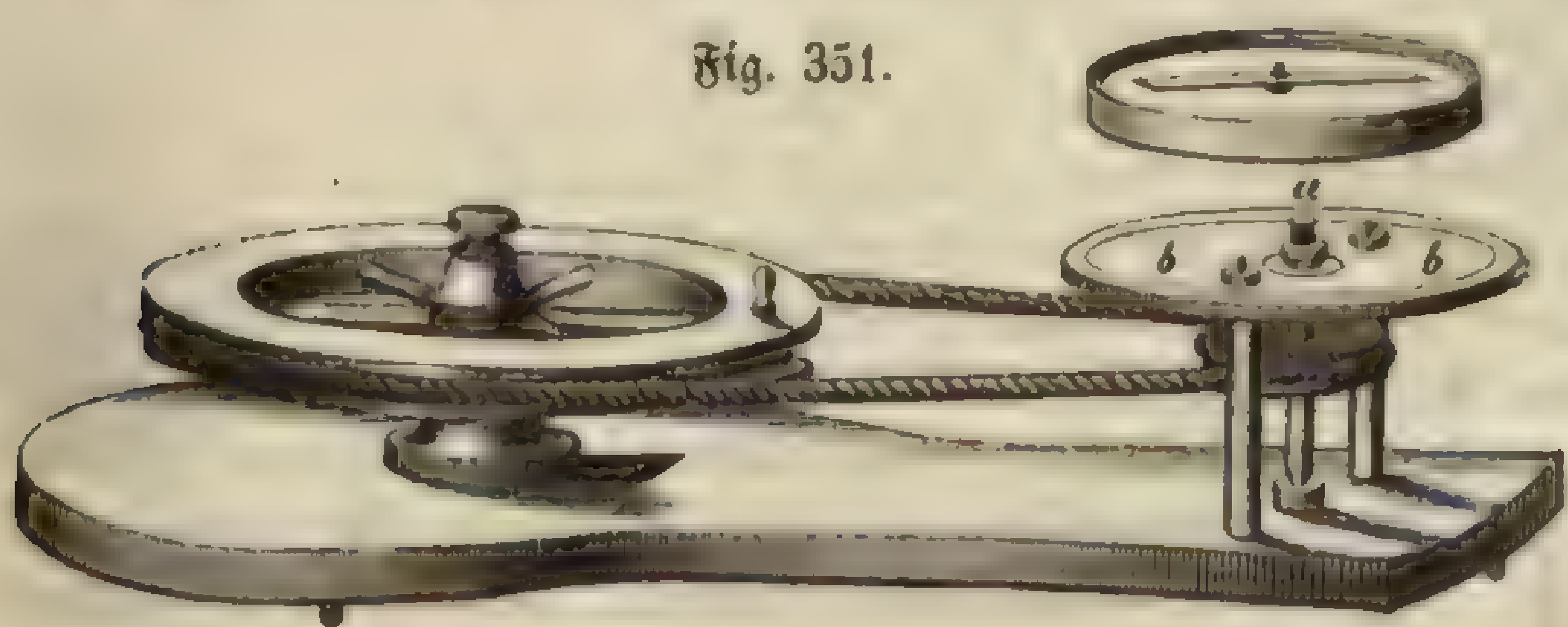
Fig. 350.



Arago hat die Beobachtung gemacht, daß, wenn man unter einer leicht beweglichen Magnetnadel eine horizontale kupferne Scheibe rotiren läßt, alsdann die Nadel der Bewegung der Scheibe folgt, d. h. daß sie sich in derselben Richtung um ihre Aufhängungsachse umdreht wie die Scheibe.

Man kann den Versuch mit jeder Centrifugalmaschine anstellen. Auf die Rotationsachse a der Centrifugalmaschine wird eine Kupferscheibe aufgeschraubt und dicht über dieser in horizontaler Lage eine Glasplatte auf irgend eine Weise befestigt, in deren Mitte, die sich gerade über a befindet, eine Spitze angebracht ist, auf welcher die Magnetnadel spielt. Bei dem Fig. 351 dargestellten Apparat ist die Umdrehungsachse mit einer Holzscheibe b umgeben; in eine kreisförmige Rinne dieser Scheibe paßt die kurze Messingröhre c, welche oben mit einer Glasplatte verschlossen ist. Die Spitze, auf welcher die Nadel spielen soll, ist in einem Messingscheibchen befestigt, welches auf die Mitte der Glasscheibe, also gerade über a gestellt wird.

Fig. 351.



Die Erscheinungen, welche man mit diesem Apparate beobachtet, sind folgende. Wenn Alles in Ruhe ist, stellt sich die Nadel in den magnetischen Meridian. Fängt man nun an zu drehen, so wird die Nadel in der Richtung abgelenkt, nach welcher sich die Scheibe dreht. Die Kraft aber, welche die Nadel fortzieht, wirkt der magnetischen Kraft der Erde entgegen, welche die Nadel in den magnetischen Meridian zurückzuführen strebt; je nach dem Verhältnisse dieser beiden Kräfte findet eine bestimmte Gleichgewichtslage für die Nadel Statt. Die ablenkende Kraft der Scheibe wächst mit der Geschwindigkeit; bei einer geringen Geschwindigkeit wird also die Nadel z. B. eine Ablenkung von 10° erleiden und in dieser Lage stehen bleiben; bei einer größeren Geschwindigkeit wird die Ablenkung 20° betragen u. s. w. Man kann es auf diese Weise dahin bringen, daß die Nadel bei jeder beliebigen Neigung gegen den magnetischen Meridian von 0° bis 90° stehen bleibt, je nachdem man der Scheibe eine größere oder geringere constante Geschwindigkeit ertheilt. Sobald aber die Geschwindigkeit einmal groß genug ist, um die Nadel um mehr als 90° abzulenken, giebt es keine Ruhelage für die Nadel mehr, die Nadel dreht sich nun mit der Scheibe.

Die Intensität der Wirkung, welche die rotirende Scheibe auf die Nadel hervorbringt, nimmt mit der Entfernung ab.

Nimmt man statt des Kupfers Scheiben von einem anderen Metall, so nimmt die Stärke der Wirkung mit der Leitungsfähigkeit des Metalles ab.

Wenn die Scheibe in der Richtung der Radien eingeschnitten ist, so verliert sie einen großen Theil ihrer Wirksamkeit; wenn man aber die Einschnitte der kupfernen Scheibe nur am Rande mit einem beliebigen Metalle, selbst mit Wismuth, wieder zulöthet, so wird die verlorene Wirksamkeit fast vollständig wieder hergestellt. Füllt man aber die Zwischenräume mit stark gepreßtem metallischen Pulver oder mit Flüssigkeiten, wie Wasser oder Schwefelsäure, so gelingt es nicht, den Verlust der Wirksamkeit auch nur wenig wieder zu ersetzen.

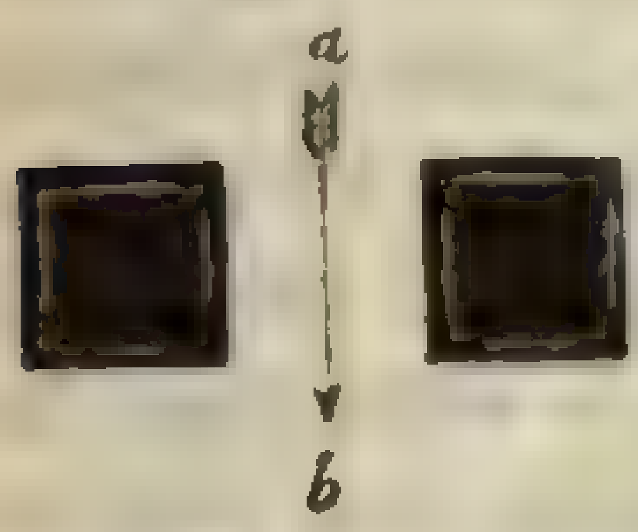
Diese Erscheinungen lassen sich nun dadurch erklären, daß der Magnet in der rotirenden Scheibe Ströme inducirt. Daß solche inducirte Ströme wirklich vorhanden sind, hat Faraday auf folgende Weise durch den Versuch nachgewiesen: Eine kupferne Scheibe, welche um eine horizontale Achse drehbar ist, wurde so zwischen die beiden Pole eines Hufeisenmagneten gebracht, daß ihr oberer Rand in die Ebene der beiden Pole oder unter diese Ebene fällt; wenn man nun einen metallischen Collector oben an den amalgamirten Rand hält, der an dem einen Ende des Multiplicatordrahtes befestigt ist, den anderen Multiplicatordraht aber mit der metallischen Achse verbindet, so weicht die Nadel des Multiplicators aus, sobald die Scheibe rotirt, und zwar hängt die Richtung der Ablenkung von der Richtung der Rotation ab; einmal nämlich zeigt die Nadel einen Strom an,

Fig. 352.



welcher von der Mitte der Scheibe zum oberen Rande geht, bei entgegengesetzter Drehungsrichtung einen Strom vom Rande nach der Mitte.

Fig. 353.

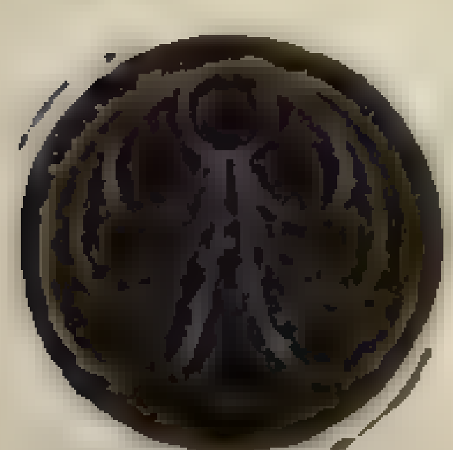


Es seyen Fig. 353 durch die beiden Quadrate die Pole des Hufeisens, durch die Pfeile sey die Richtung der Ströme dargestellt, welche nach der Ampère'schen Theorie die beiden Pole bilden; man sieht, daß diese Ströme beider Pole an den einander zugekehrten Seiten, an den Seiten also, welche bei unserm Versuche der rotirenden Scheibe zugekehrt sind, gleiche Richtung haben. Wird nun die Scheibe so gedreht, daß ihr oberer Rand gleichfalls dieselbe Richtung hat wie der Strom des Magneten an der inneren Seite, daß er sich also von *a* nach *b* bewegt, so zeigt der Multiplicator einen Strom an, welcher von der Mitte der Scheibe zum Rande geht; wenn aber die Richtung der Rotation der eben besprochenen entgegengesetzt ist, so geht der inducirte Strom vom Rande der Scheibe zur Mitte.

Die Richtung der inducirten Ströme, wie sie hier der Versuch angegeben hat, stimmt ganz mit dem oben angegebenen allgemeinen Inductionsgesetze überein.

Wenn statt der beiden Pole des Hufeisenmagneten nur einer gewirkt hätte, so würde die Erscheinung bis auf die Intensität der Wirkung ganz dieselbe gewesen seyn.

Fig. 354.



Wenn nun die metallene Axe mit dem Rande nicht mehr durch den Multiplicatordraht verbunden ist, so hört deshalb die Induction der Ströme in der Scheibe nicht auf; nur werden die Ströme, da sie nicht mehr durch den Multiplicatordraht gehen können, in der Scheibe selbst ihren Weg vollenden müssen. Die Scheibe wird von Strömen durchlaufen, ungefähr wie Fig. 354 zeigt.

Fig. 355.



Wenden wir dies auf den Fall an, daß ein horizontaler Magnetstab über einer horizontalen rotirenden Kupferscheibe sich befinde. Nehmen wir an, die Ströme, welche den Magneten bilden, hätten eine solche Richtung, daß sie an der unteren der Platte zugekehrten Seite des Stabes von der Linken zur Rechten gehen, und daß die Scheibe in der Richtung der Pfeile, Fig. 355, gedreht werde; so wird der eben besprochenen Erfahrung zufolge der Pol *a* Ströme induciren, welche von der Mitte der Scheibe zum Rande, der andere Pol aber solche, welche vom Rande nach der Mitte gehen, kurz, es wird ein System von Strömen inducirt, wie es Fig. 355 darstellt. Die Rückwirkung dieser Ströme auf die Nadel bringt aber die oben besprochene Rotation derselben hervor.

Induction elektrischer Ströme durch den Erdmagnetismus. 121
Auch der Erdmagnetismus kann, so gut wie ein Magnet, in einer geschlossenen Spirale Ströme induciren; da aber hier von einem Annähern und Entfernen nicht die Rede seyn kann, so muß hier die Induction durch die Rota-

tion der Spirale bewirkt werden. — Faraday hat die Induction durch den Erdmagnetismus zuerst beobachtet. Die Enden einer Drahtspirale waren durch dünne Drähte, welche lang genug waren, um eine ziemlich freie Bewegung zu gestatten, mit den Enden eines Multiplicators verbunden. Wird die Spirale so gehalten, daß ihre Axe in die Richtung der Inclinationsnadel fällt, so wird die Nadel des Multiplicators abgelenkt, wenn man die Spirale rasch umkehrt; durch rechtzeitige Wiederholung dieser Umdrehung kann man die Nadel leicht in bedeutende Schwingungen versetzen. Der Effect wird bedeutender, wenn ein weiches Eisen in der Hülse steckt, er rührt aber alsdann zum großen Theil von den Strömen her, welche durch den Polaritätswechsel des Eisenstabes inducirt werden.

Die Induction durch den Erdmagnetismus wurde nun durch einige italienische Naturforscher weiter verfolgt; endlich construirte Palmieri einen tellurischen Inductionsapparat, mit welchem er Funken, Schläge und Wasserzersetzung ohne Vermittelung von weichem Eisen hervorbrachte: 200 Windungen eines 1,5 Millimeter dicken Kupferdrahtes waren auf einen elliptischen Rahmen gewickelt, dessen große Axe 2,2 und dessen kleine Axe 0,6 Meter betrug. Die große Axe dieser Ellipse diente, auf dem magnetischen Meridian rechtwinklig stehend, als Umdrehungsaxe.

Mit einer solchen Spirale kann man die Erscheinungen der tellurischen Induction sehr gut hervorbringen, wenn man sie in gehörige Verbindung mit einem Commutator setzt; der Commutator, wie ihn Stöhrer bei seinen Rotationsapparaten anwendet, ist zu diesem Zweck sehr brauchbar.

Wenn die Rotationsaxe dieses Apparates mit der Richtung der Inclinationsaxe zusammenfällt, so kann keine Induction durch den Erdmagnetismus stattfinden.

Weber hat auf eine sehr sinnreiche Weise die tellurische Induction benutzt, um die magnetische Inclination zu bestimmen. Sein Inductions-Inclinatorium, Fig. 356 hat folgende Einrichtung. *aa* ist ein Ring, welcher 100^{mm} inneren, und 161^{mm} äußeren Durchmesser hat; er besteht aus 16 ringförmig ausgeschnittenen Kupferblechen, von denen 8 auf der einen, 8 auf der anderen Seite sich befinden, während in der Mitte ein Zwischenraum von 12^{mm} bleibt. Die Dicke des ganzen Ringes mit Einschluß des Zwischenraums betrug 34^{mm}. Die Axe, um welche dieser Ring gedreht wird, liegt auf beiden Seiten auf Frictionsrollen. Auf der rechten Seite ist die Axe hohl, und durch diese Höhlung ragt ein Stäbchen in den Ring hinein, welches die Bussole *b* trägt. Die Rotation des Ringes um seine Axe wird unter Vermittelung der Zahnräder r und r' durch die Kurbel k bewirkt. 7 Umdrehungen der Kurbel entsprechen 40 Umdrehungen des Inductionsringes.

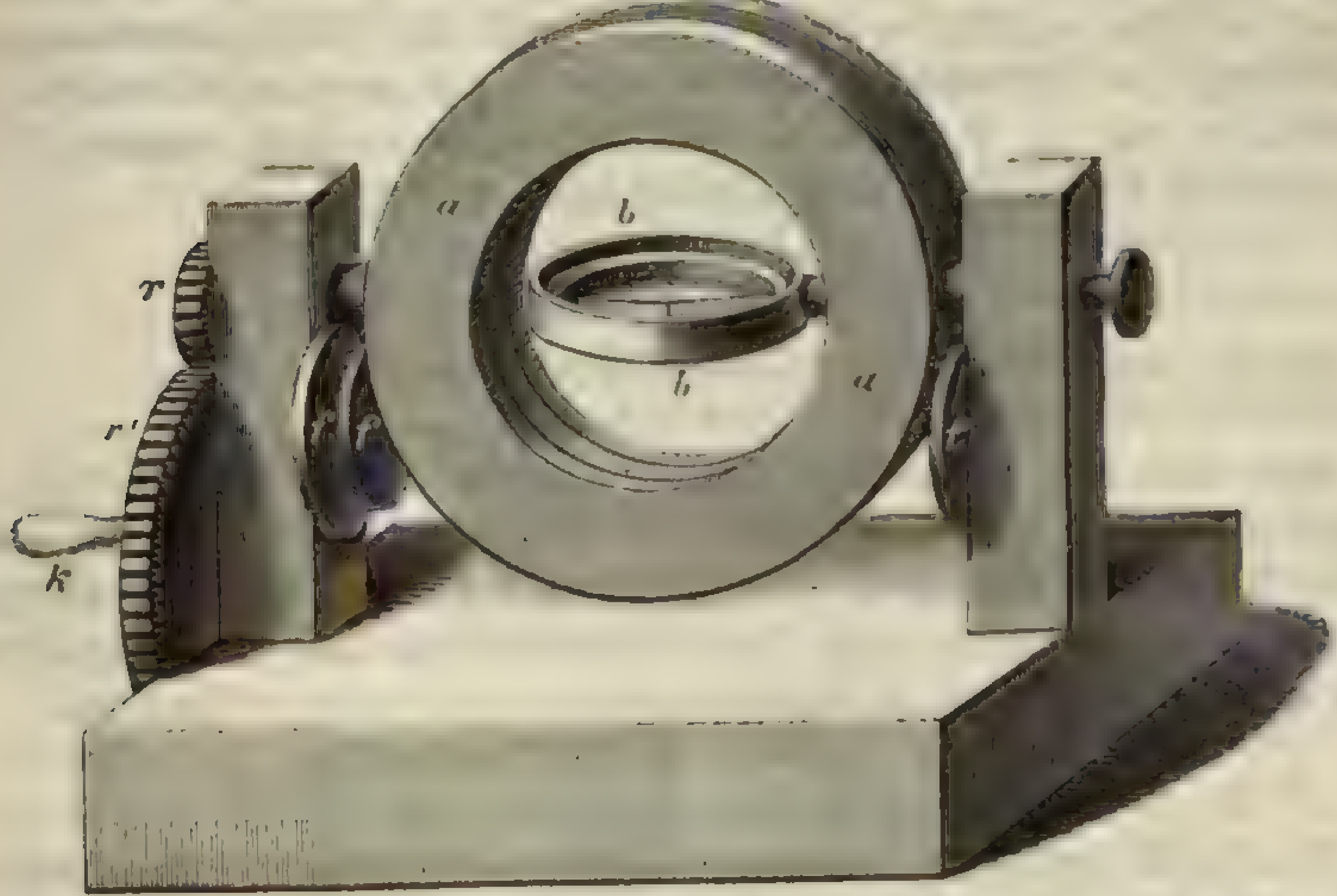
Das Instrument wird so aufgestellt, daß die Umdrehungsaxe des Inductionsringes in den magnetischen Meridian fällt.

Bei jedem Schlage eines Secundenzählers wurde die Kurbel ½- oder 1mal herumgedreht, was für den ersten Fall 166,7, für den zweiten 333,4 Umdrehungen des Inductors in der Minute ausmacht, da der Secundenschläger

nicht genau Secunden schlug, sondern 60 Schläge = 61,7 Secunden waren.

Bei 166,7 Umdrehungen des Inductors in einer Minute wurde die Mag-

Fig. 356.



netnadel um 5,63°, bei 333,4 Umdrehungen um 10,76° abgelenkt; die Ablenkung, also auch die Stärke des inducirten Stromes, ist mithin nahezu der Umdrehungsgeschwindigkeit proportional.

Da die Magnetnadel bei ihrer Ruhelage mit der Umdrehungsaxe des Ringes zusammenfällt, so kann sie im rotirenden Ringe keine Ströme induciren; eben so wenig inducirt der horizontale Theil des Erdmagnetismus im rotirenden Ringe einen Strom, die inducirten Ströme rühren also lediglich von der vertikalen Composante des Erdmagnetismus her.

Während der Rotation des Ringes wirken auf die Nadel zwei Kräfte, eine ablenkende, welche von dem inducirten Strom herrührt, also dem vertikalen Theile T' des Erdmagnetismus proportional ist, und die wir also mit $bM \,.\, T'$ bezeichnen können, wenn M die Stärke des Nadelmagnetismus, und b ein constanter Factor ist. Der horizontale Theil des Erdmagnetismus zieht aber die Nadel mit der Kraft MT zurück, wenn T die horizontale Intensität des Erdmagnetismus bezeichnet; folglich ist die Tangente des Ablenkungswinkels v

$$tang.\ v = \frac{bMT'}{MT} = b\,\frac{T'}{T} = b\ .\ tang.\ i$$

oder

$$tang.\ i = a\ tang.\ v,$$

wenn $a = \frac{1}{b}$, denn der Quotient $\frac{T'}{T}$ ist der Tangente der magnetischen

Inclination i gleich. Man könnte also aus der beobachteten Ablenkung v der Nadel unseres Instrumentes die Inclination i berechnen, wenn nur der Factor a bekannt wäre.

Diesen Factor kann man aber umgekehrt für eine bestimmte Umdrehungsgeschwindigkeit bestimmen, wenn die Inclination des Ortes genau bekannt ist. Nach den oben angeführten Beobachtungen war für 166,7 Umdrehungen in der Minute die Ablenkung im Mittel 5,465°, also $tang.\ v = 0{,}0962$; für Göttingen, wo die Versuche mit dem Instrument angestellt wurden, ist die Inclination 67°50′; also $tang.\ i = 2{,}4545$, also ist

$$a = \frac{2{,}4545}{0{,}0962} = 25{,}514.$$

Für die erwähnte Umdrehungsgeschwindigkeit haben wir also

$$tang.\ i = 25{,}514\ tang.\ v.$$

Man kann also nun, wenn an irgend einem anderen Orte Versuche mit diesem Instrumente gemacht werden, aus dem beobachteten Ablenkungswinkel v die Inclination des Ortes bestimmen. Gesetzt, man habe mit demselben Instrumente an irgend einem Orte für die erwähnte Umdrehungsgeschwindigkeit $v = 3{,}5^0$ gefunden, so ergäbe sich für die Inclination dieses Ortes

$$tang.\ i = 25{,}514\ .\ 0{,}06116 = 0{,}15605$$
$$i = 8^0\ 52'.$$

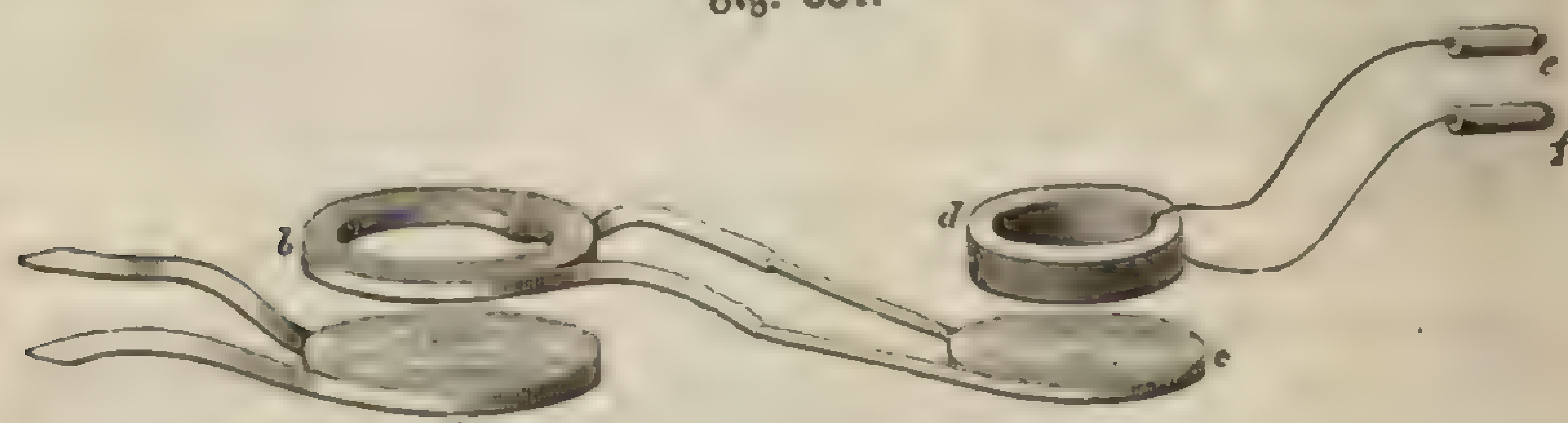
Der Factor von $tang.\ v$ ändert übrigens im umgekehrten Verhältniß die Umdrehungsgeschwindigkeit; für 500 Umdrehungen des Ringes (natürlich an demselben Instrument) wäre demnach der Factor von $tang.\ v$

$$= 25{,}514\ .\ \frac{166{,}7}{500}.$$

So ist man also vermöge dieser äußerst sinnreichen Methode im Stande, aus der beobachteten Ablenkung einer horizontalen Magnetnadel die Inclination des Ortes zu bestimmen. (P. A. XLIII, 493.)

122 **Inductionsströme höherer Ordnung.** Henry hat nachgewiesen, daß ein Inductionsstrom im Stande ist, wieder inducirend auf eine geschlossene Spirale zu wirken. Der primäre Strom ging durch die 90 Fuß lange Bandspirale a (Fig. 357); über dieser befand sich die 60füßige Bandspirale b; die

Fig. 357.



Enden von b waren mit denen einer dritten Bandspirale c verbunden, welche gleichfalls aus einem 60 Fuß langen, aber nur 3/4 Zoll breiten Kupferstreifen

gemacht war; da die Spirale *c* den Schließungsbogen von *b* bildet, so muß in *c* der Strom circuliren, welcher in *b* durch den Einfluß der Stromunterbrechung in *a* inducirt wird. Der Strom in *c* konnte nun außer dem Einfluß von *a* inducirend auf die Drahtrolle *d* (aus 1660 Ellen eines 1/49 Zoll dicken Drahtes gebildet) wirken. In der That bekam man bei Anfassung der Handhaben *e* und *f* kräftige Schläge.

Aehnliche Resultate wurden auch mit anderen Combinationen von Draht- und Bandrollen erhalten.

Nennt man den Strom in *a* den primären, so ist der in *b* und *c* der secundäre, der in *d* endlich der tertiäre, oder es ist der Strom in *d* ein Strom dritter Ordnung, der in *b* und *c* ein Strom zweiter Ordnung, wenn der in *a* als Strom erster Ordnung bezeichnet wird.

Henry hat in gleicher Weise auch die Existenz von Inductionsströmen vierter und fünfter Ordnung nachgewiesen.

Henry fand auch, daß zwischen zwei flachen Spiralen wie *a* und *b*, welche einander parallel gehalten sind, noch auf ziemlich bedeutende Entfernung hin eine inducirende Wirkung stattfindet.

Unipolare Induction. Wir haben gesehen, daß durch Bewegung eines 123 Magneten in der Nähe einer geschlossenen Drahtspirale in dieser ein Strom inducirt wird, welcher demjenigen entgegengesetzt ist, welcher die Spirale durchlaufen müßte, wenn die Einwirkung dieses Stromes den Magneten in gleicher Weise bewegen sollte. Weber hat nun diese Umkehrung auch für den Fall nachgewiesen, daß die Längenaxe des Magneten selbst seine Rotationsaxe ist, und daß ein Stück dieser Axe zugleich einen Theil des geschlossenen Leiters ausmacht, wie es bei dem Rotationsversuch der Fall ist, welchen wir in §. 111, Figur 320 und 321 kennen lernten.

Der Apparat, welchen Weber anwendet, um durch einen um seine Axe rotirenden Magneten eine Induction hervorzubringen, welche er mit dem Namen der unipolaren Induction bezeichnet, ist Fig. 358 (s. f. S.) dargestellt. Ein cylindrischer Stahlmagnet, *m*, war an beiden Enden mit Spitzen versehen, welche in kleine Vertiefungen der eisernen Klammern *a* und *b* eingesetzt waren, wie man dies Fig. 359 (s. f. S.) deutlicher sieht. Diese Klammern waren auf das Brett aufgeschraubt, welches den ganzen Apparat trug. — In diese Klammern konnte man zwei große Magnete mit denjenigen Enden einschieben, welche den entgegenstehenden Polen des Magneten *m* entgegengesetzt waren, und dadurch den Magnetismus des Stahlcylinders *m* bedeutend erhöhen.

Die Umdrehung des Magneten *m* um seine Axe wurde durch ein Getriebe bewerkstelligt, dessen Einrichtung sich aus der Fig. 358 ergiebt. Bei jeder Umdrehung der Kurbel machte der Stahlcylinder 8⁴/₇ Umdrehungen.

Ungefähr auf der Mitte des Stahlcylinders *m* war eine Messingscheibe *s* befestigt, deren unteres Ende in Quecksilber eintauchte, welches sich in dem Gefäße *g* befand.

Wurde nun das eine Drahtende eines Multiplicators in das Quecksilber-

gefäß *g* getaucht, das andere an der Klammer *b* befestigt, so wurde die Multiplicatornadel abgelenkt, sobald man die Kurbel zu drehen begann.

Fig. 358.

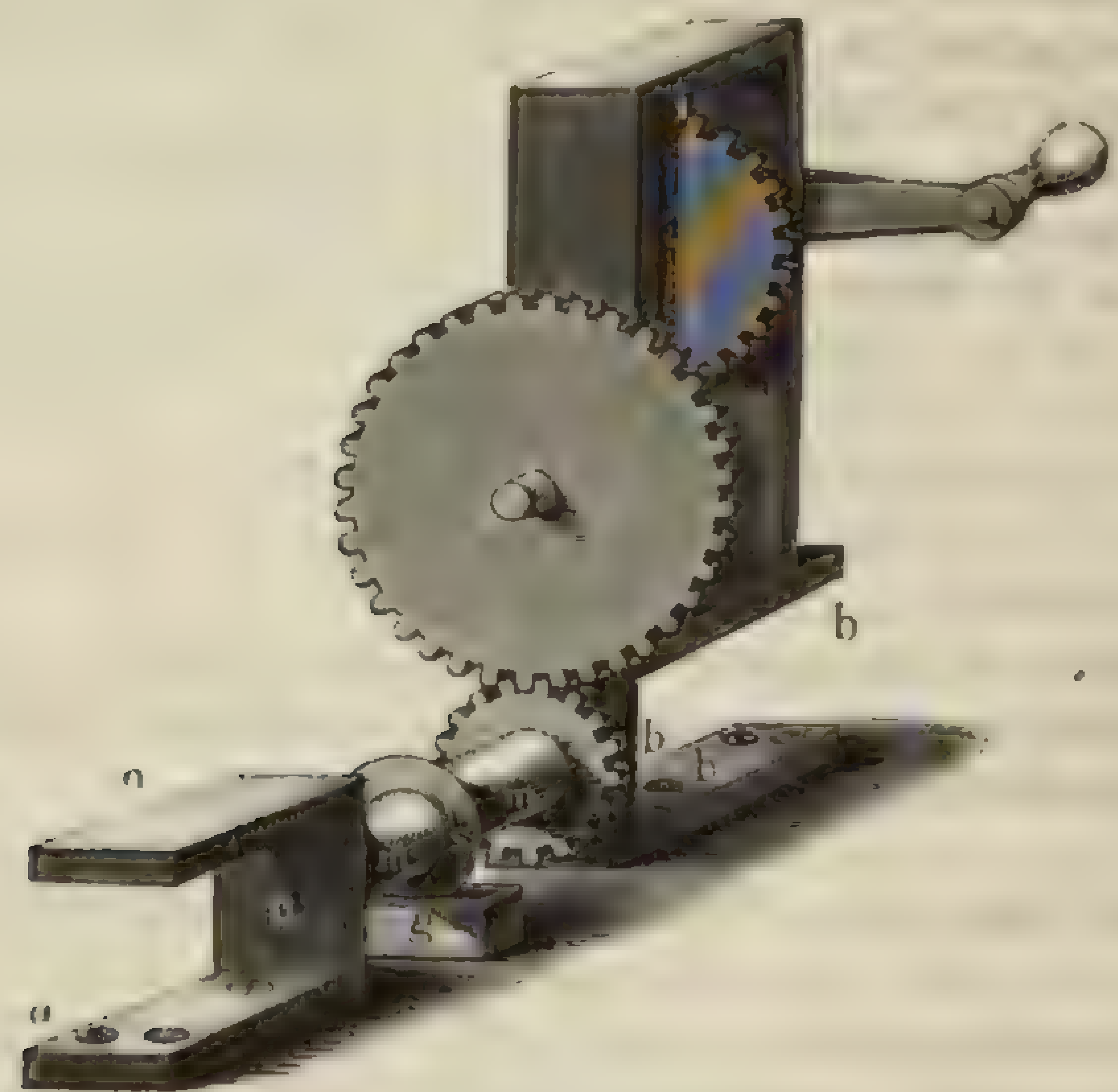
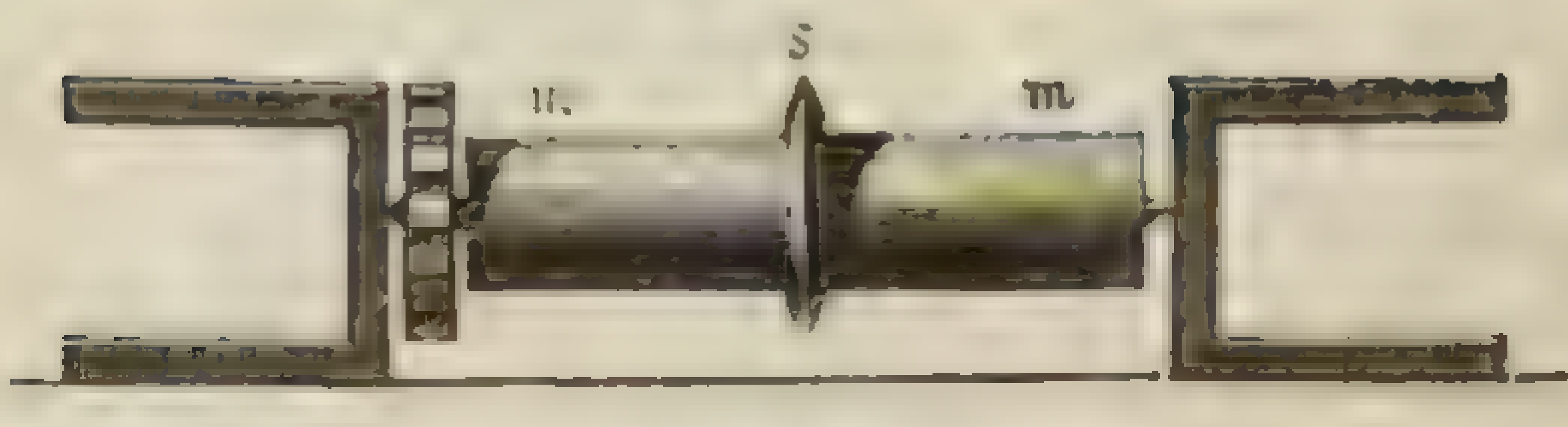


Fig. 359.



Als Multiplicator wurde ein transportables Magnetometer angewendet, um dessen Magnetstab der Multiplicatordraht in 2000 Windungen herumgeführt war. Um die Kraft zu vermindern, mit welcher der Magnetometerstab im magnetischen Meridian zurückgehalten wird, wurde ein 25pfündiger Magnetstab etwa 2 Meter südlich vom Magnetometer so aufgestellt, daß sein Südende nach Norden kehrte; dadurch wurde natürlich die Empfindlichkeit des strommessenden Apparates sehr erhöht.

Die theoretische Betrachtung, durch welche Weber nachweist, daß in diesem Fall eine Induction stattfinden müsse und durch welche auch die Benennung »unipolare Induction« gerechtfertigt wird, ist folgende:

Man nimmt die Existenz zweier magnetischer Fluida an, eines nördlichen und eines südlichen, welche in den Molekülen eines Magneten in gleicher Menge vorhanden, aber von einander geschieden sind. Wird ein solcher Magnet bewegt, so wird in einem benachbarten Leiter ein galvanischer Strom nach bekannten Gesetzen inducirt. Dieser Strom ist so beschaffen, daß er in zwei

Ströme zerlegt werden kann, von denen der eine durch die Bewegung des nördlichen, der andere durch die Bewegung des südlichen Fluidums entsteht. Diese Induction zweier Ströme durch die Bewegung beider magnetischer Fluida heiße im Allgemeinen eine bipolare Induction. Es ist aber auch eine Induction denkbar, wobei entweder bloß ein magnetisches Fluidum bewegt wird und also der vom anderen Fluidum inducirte Strom stets Null bleibt; oder das andere Fluidum bald positive, bald negative Ströme inducirt, deren Summe Null ist, so daß auch hier bloß derjenige Strom bleibt, welcher vom ersten Fluidum inducirt wird. Diese Induction eines Stromes durch die Bewegung eines magnetischen Fluidums heiße eine unipolare Induction.

Man denke sich einen Leiter, welcher die Gestalt eines horizontalen Kreises oder Ringes hat, und bewege in der vertikalen Axe dieses Ringes einen bloß nördliches Fluidum enthaltenden Körper abwärts, so wird im Ring ein Strom in der Richtung des Pfeiles *p*, Fig. 360, inducirt. Während sich das nordmagnetische Theilchen von oben her der Ringebene nähert, nimmt die Stärke des inducirten Stromes zu; während es sich unterhalb von der Ringebene entfernt, nimmt die Stromstärke ab, ohne daß eine Veränderung in der Stromesrichtung stattfände.

Wird nun der, bloß nördliches Fluidum enthaltende Körper, nachdem er abwärts durch den Ring hindurchgegangen ist, außerhalb des Ringes wieder hinaufgeführt, beschreibt er also eine Bahn, ungefähr wie sie durch den Kreis

Fig. 360.

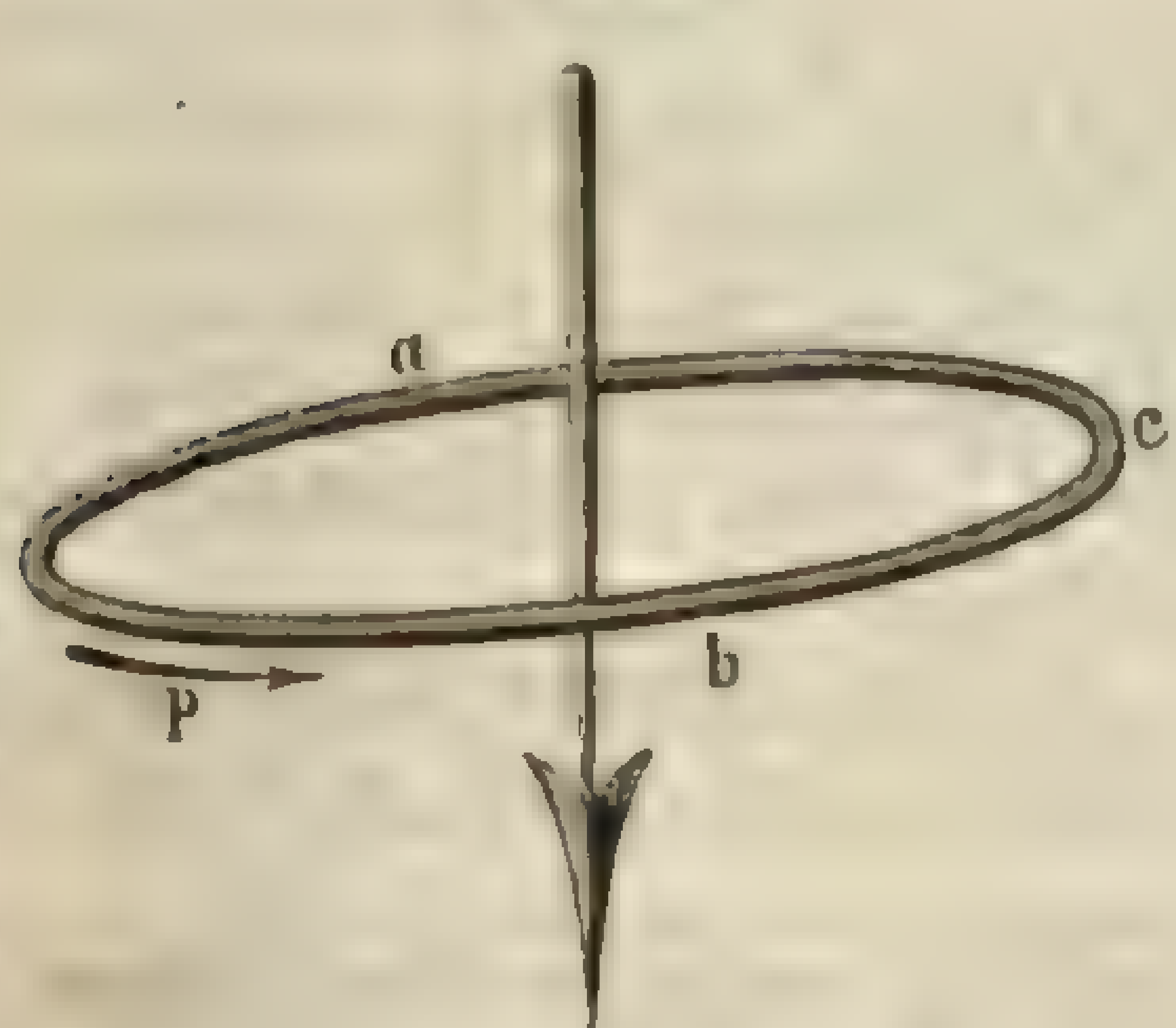
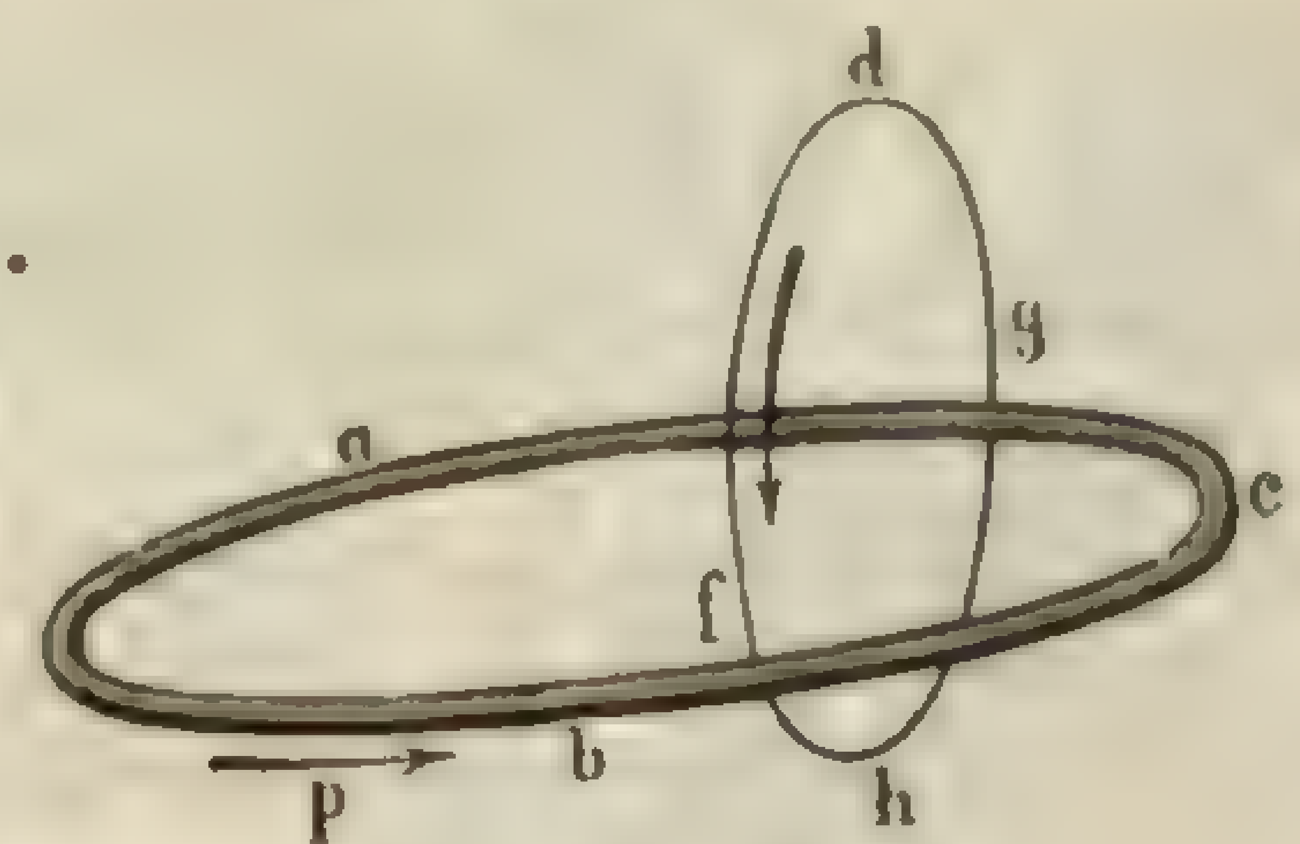


Fig. 361.



dfhg, Fig. 361, dargestellt ist, so wird er stets einen Strom in gleicher Richtung induciren.

Enthielte der im Kreis *dfgh* bewegte Körper nur südliches Fluidum, so würde der im horizontalen Leiter inducirte Strom die entgegengesetzte Richtung von der in Fig. 361 angedeuteten haben.

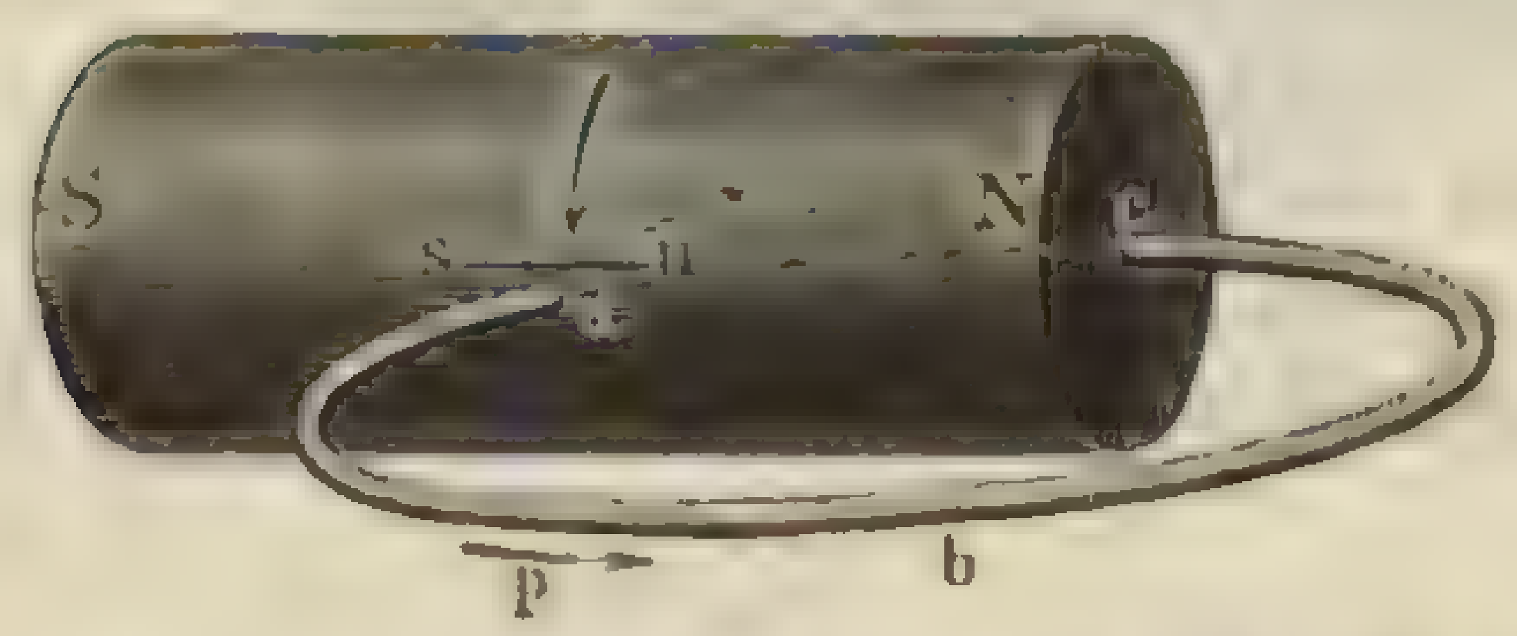
In der eben angedeuteten Weise können wir freilich keine Induction zu Wege bringen, weil wir keinen Körper darstellen können, in welchem bloß nördliches oder bloß südliches Fluidum vorhanden wäre. — Wenn es aber auch keinen Körper giebt, welcher nur das eine Fluidum enthielte, so sind doch in

einem magnetischen Körper die magnetischen Flüssigkeiten räumlich getrennt, und wir können uns ja die Wirkungen eines Magneten nach außen dadurch hervorgebracht denken, daß das nördliche Fluidum im einen, das südliche im anderen Pol des Magnetstabes gesammelt ist. Wir können es nun so einrichten, daß der eine Pol eines Magnetstabes, etwa der Nordpol, in der Fig. 361 angedeuteten Weise, halb durch den Ring hindurch, halb um ihn herumgeht, während der andere Pol ganz außerhalb des Schließungsbogens bleibt.

Um ein derartiges Arrangement herzurichten, muß man einen Theil des Magneten selbst in den Schließungsbogen einschalten, wie es der Fall ist, wenn man das eine Ende eines Leitungsdrahtes in der Mitte des einen Poles, das andere Ende an der Seite des Magnetstabes ansetzt, wie es Fig. 362 angedeutet ist, wo *NS* einen cylindrischen Magnetstab und *abc* einen Leitungsdraht darstellt, zwischen dessen Enden ein Stück des Magneten eingeschaltet ist.

Man sieht nun leicht ein, daß, wenn bei dieser Anordnung der Magnet um seine Axe rotirt, die einzelnen südmagnetischen Partikelchen in *S* stets außerhalb des geschlossenen Leiters bleiben, daß sie also keinen bemerkbaren Inductionsstrom in demselben bewirken können, weil der Strom, den sie auf der einen Hälfte ihrer Bahn induciren, demjenigen gleich und entgegengesetzt ist, welchen sie induciren, während sie die andere Hälfte ihrer Bahn durchlaufen. Anders verhält es sich mit den nordmagnetischen Partikelchen in *N*. Sie bewegen sich in Beziehung auf den Schließungsbogen gerade so, wie es in dem Fig. 361 dargestellten Falle angenommen wurde; die nordmagnetischen Partikelchen in *N* induciren also in der Richtung des Pfeiles *p* einen continuirlichen Strom, wenn der Magnet in der angegebenen Richtung rotirt.

Fig. 362.



Hier inducirt also der Nordpol einen Strom, während der Südpol des Magneten keine entsprechende Induction bewirken kann, daher der Name der **unipolaren Induction**.

Wir haben hier freilich angenommen, daß alles nordmagnetische Fluidum in *N*, alles südliche in *S* concentrirt sey, was in der That nicht der Fall ist, indem sich in der ganzen Länge des Magnetstabes noch magnetische Partikelchen vorfinden. Was aber für den ganzen Magneten gesagt wurde, gilt ebenso für die einzelnen magnetischen Partikelchen. Denken wir uns ein magnetisches Partikelchen *ns*, dessen Mittelpunkt bei seiner Rotation gerade den Punkt passirt, an welchem der Draht den Stahlcylinder berührt, so wird während der Rotation des Cylinders *n* durch den Ring hindurchgehen, *s* aber außerhalb desselben bleiben, also bloß *n* einen continuirlichen, stets gleichgerichteten Strom induciren; so giebt es für jeden Punkt des Schließungsbogens innerhalb des Stahlcylinders eine Reihe von magnetischen Partikelchen, welche bei der Ro=

tation mit ihrem einen Pole durch den Schließungsbogen hindurchgehen, mit dem anderen aber bloß außerhalb desselben sich bewegen.

Man übersieht nun auch leicht, daß der Apparat Fig. 358 die Ausführung der Fig. 362 schematisch dargestellten Anordnung ist.

Aus den oben angestellten Betrachtungen ergeben sich nun in Beziehung auf den unipolaren Inductionsstrom noch folgende Gesetze.

Die Induction ist unabhängig von der Länge des Cylinders, vorausgesetzt, daß alle seine Theilchen gleich stark magnetisch sind; sie ist aber unter sonst gleichen Umständen dem Querschnitt des Cylinders proportional.

In den oben beschriebenen Apparat wurde ein Stahlcylinder von 269^{mm} Länge und 23^{mm} Durchmesser eingeschaltet, dessen magnetisches Moment nach absolutem Maaß 65,000,000 beträgt. Seine Pole wurden durch magnetische Vorlagen verstärkt. Als nun die Kurbel so gedreht wurde, daß der Magnet 60 Umdrehungen in 7 Secunden machte, wurde der Magnetometerstab so aus dem magnetischen Meridian abgelenkt, daß seiner neuen Gleichgewichtslage der Theilstrich 622,5 der Magnetometerscala entsprach. Es wurde mit gleicher Geschwindigkeit nach entgegengesetzter Richtung gedreht und nun entsprach der Theilstrich 736,5 der Gleichgewichtslage. Die durch den unipolaren Inductionsstrom hervorgebrachte Ablenkung aus dem magnetischen Meridian betrug also in diesem Falle

$$\frac{736,5 - 622,5}{2} = 57$$

Theilstriche. Als halb so schnell gedreht wurde, war auch die durch den unipolaren Inductionsstrom hervorgebrachte Ablenkung nur halb so groß.

Der Versuch bestätigte das in der Weber'schen Theorie enthaltene Gesetz in Beziehung auf die Richtung des unipolar inducirten Stromes; auch die Stärke desselben stimmte, so weit es sich bei solchen Versuchen erwarten läßt, mit den theoretischen Bestimmungen Weber's überein.

Die Erscheinung der unipolaren Induction erhält eine besondere Wichtigkeit bei der Beantwortung der Frage, ob den beiden magnetischen Fluidis eine physische Existenz zugeschrieben werden müsse, oder ob überall statt ihrer die Annahme fortdauernder galvanischer Ströme im Inneren der Magnete zulässig sey. — Zur Erklärung der unipolaren Induction scheint die letztere Annahme nicht zu genügen, während die Annahme von der physischen Existenz zweier magnetischer Fluida nicht allein jene Erklärung zu geben scheint, sondern auch zuerst auf die Betrachtung dieser Erscheinung geführt hat. Ebenso läßt sich der Rotationsversuch, durch dessen Umkehrung die unipolare Induction erhalten wird, sehr wohl durch die Annahme magnetischer räumlich getrennter Fluida, aber nicht durch die Ampère'schen Ströme erklären. (Gauß und Weber, Resultate des magnetischen Vereins im Jahre 1839, Seite 63.)

Weber's Theorie der Elektrodynamik und der Voltainduction. 124
Weber hat ein allgemeines Gesetz der elektrischen Wirkung in die Ferne aufgestellt, welches sowohl die Elektrostatik, wie die Elek-

trodynamik umfaßt, und aus welchem sich das Inductionsgesetz als nothwendige Folge ergiebt. Die vollständige Entwickelung des Zusammenhanges zwischen den genannten elektrischen Fernwirkungen findet sich in den »Abhandlungen der königl. sächsischen Gesellschaft der Wissenschaften, Leipzig 1846«; kürzer in Poggendorff's Annalen Bd. LXXIII, S. 193. Die Entwickelung der Grundzüge dieser Theorie findet sich in meinem »Bericht über die neuesten Fortschritte in der Physik« Seite 664 bis 675. Hier muß ich mich auf einige Andeutungen beschränken.

Betrachten wir zwei Stromelemente A und B, deren Wechselwirkung wir untersuchen wollen, so haben wir in jedem derselben gleiche Mengen positiver und negativer Elektricität, welche sich in entgegengesetzter Richtung bewegen. — Wir haben also in den zwei Stromelementen, die wir betrachten, vier Wechselwirkungen elektrischer Massen, zwei abstoßende zwischen den beiden positiven und den beiden negativen Massen in den Stromelementen, und zwei anziehende zwischen der positiven Masse in A und der negativen Masse in B, und ferner zwischen der negativen Masse in A und der positiven in B.

Jene beiden abstoßenden Kräfte müßten, wenn die bekannten elektrostatischen Gesetze eine unbedingte Anwendung auf unseren Fall fänden, den beiden anziehenden Kräften gleich seyn, weil die gleichartigen sich abstoßenden Massen den ungleichartigen sich anziehenden gleich sind und aus gleicher Entfernung auf einander wirken.

Nun aber wirken zwei Stromelemente in der That anziehend oder abstoßend auf einander; wenn also irgend ein Zusammenhang zwischen den Grundgesetzen der Elektrostatik und der Elektrodynamik stattfinden soll, so muß man annehmen, daß die gegenseitige Einwirkung elektrischer Massen durch ihren Bewegungszustand modificirt werde. Das statische Gesetz der elektrischen Abstoßung bedarf also einer Ergänzung, wenn die Gesetze der Elektrodynamik daraus abgeleitet werden sollen.

Nach dem elektrostatischen Gesetze läßt sich die gegenseitige Einwirkung zweier elektrischen Massen ε und ε', deren gegenseitige Entfernung r ist, ausdrücken durch

$$\frac{\varepsilon\,\varepsilon'}{r^2}$$

und dieser Ausdruck ist positiv zu nehmen (Anziehung), wenn ε und ε' entgegengesetzter Natur, negativ dagegen (Abstoßung), wenn sie gleichnamig sind. Nach Weber's Theorie ist die gegenseitige Einwirkung zweier elektrischen Theilchen aber nicht allein von ihrer Entfernung, sondern auch von ihrem relativen Bewegungszustand abhängig. Dem obigen Ausdruck muß noch ein zweites Glied hinzugefügt werden, welches von der relativen Geschwindigkeit v, und ein drittes, welches von der relativen Beschleunigung g abhängig ist. Bei gegenseitiger Annäherung ist das zweite Glied negativ, das dritte positiv zu nehmen, die Gleichung, durch welche die gegenseitige Einwirkung

zweier elektrischen Theilchen ε und ε' auf einander ausgedrückt wird, ist demnach

$$\frac{\varepsilon\,\varepsilon'}{r^2}\,(1 - a v^2 + bg) \ldots$$

Suchen wir nun aus dem durch diese Formel ausgedrückten Gesetze die gegenseitige Einwirkung zweier Stromelemente in zwei speciellen Fällen abzuleiten.

Zunächst wollen wir den Fall betrachten, wo die Richtung der beiden Stromelemente A und B mit der sie verbindenden Geraden zusammenfällt; die Ströme seyen in beiden Elementen gleich gerichtet, wie Fig. 363 andeutet, wo die gefiederten Pfeile die positiven, die ungefiederten die negativen Stromtheilchen andeuten sollen. Die gleichnamigen Stromtheilchen in A und B bleiben in unveränderter Entfernung, für sie ist also v und g gleich Null, die Größe mit der die beiden positiven Stromtheilchen sich abstoßen, ist also $-\frac{\varepsilon\,\varepsilon'}{r^2}$. Diesem ganz gleich ist auch die Einwirkung der beiden negativen Stromtheilchen.

Fig. 363.



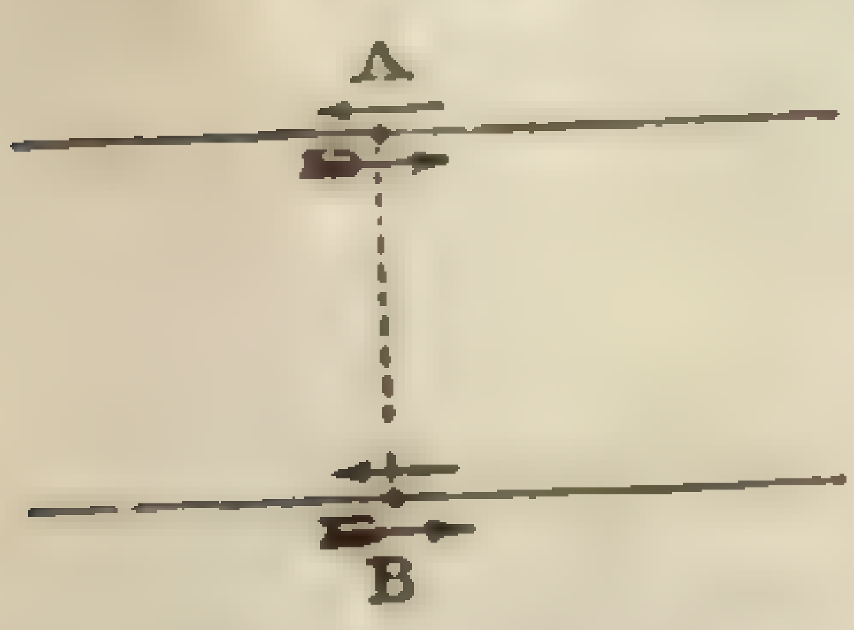
Das positive Stromtheilchen von A entfernt sich aber mit gleichförmiger Geschwindigkeit von dem negativen in B, mithin ist $g = 0$ und die Einwirkung dieser beiden Theilchen reducirt sich auf $\frac{\varepsilon\,\varepsilon'}{r^2}(1 - a v^2)$. Ebenso groß ist die Kraft, mit welcher das positive Stromtheilchen in B und das negative in A auf einander wirken; die resultirende der vier einzelnen Kräfte ist also:

$$2\,\frac{\varepsilon\,\varepsilon'}{r^2}\,(1 - a v^2) - 2\,\frac{\varepsilon\,\varepsilon'}{r^2} = -\,2\,\frac{\varepsilon\,\varepsilon'}{r^2}\;a v^2,$$

d. h. es muß, übereinstimmend mit dem Ampère'schen Gesetz, eine Abstoßung zwischen den Stromelementen A und B stattfinden.

Gehen wir zur Betrachtung paralleler, gleichgerichteter Ströme über, Fig. 364. Die gleichnamigen Stromtheilchen bleiben stets in gleicher Entfernung, für sie ist also v und g gleich Null; die Abstoßung der beiden positiven Stromtheilchen sowohl wie die der beiden negativen, ist also $\frac{\varepsilon\,\varepsilon'}{r^2}$. Die Stromtheilchen in A nähern oder entfernen sich von den ungleichnamigen in B mit ungleichförmiger Geschwindigkeit, folglich ist g nicht gleich Null; dagegen wird für zwei einander gerade gegenüber liegende ungleichnamige Stromtheilchen in A und B die relative Geschwindigkeit v gleich Null seyn, denn vor ihrer Ankunft in diesem

Fig. 364.



Punkte nähern sich die fraglichen Stromtheilchen mit abnehmender, nachdem sie ihn passirt haben, entfernen sie sich mit wachsender relativer Geschwindigkeit; in den Punkten A und B selbst muß also die relative Geschwindigkeit v gleich Null seyn. Die Einwirkung eines positiven Stromtheilchens in einem Draht auf das gerade gegenüber liegende negative ist also

$$\frac{\varepsilon\,\varepsilon'}{r^2}(1+bg)$$

und die Summe der gegenseitigen Einwirkungen aller vier Stromtheilchen:

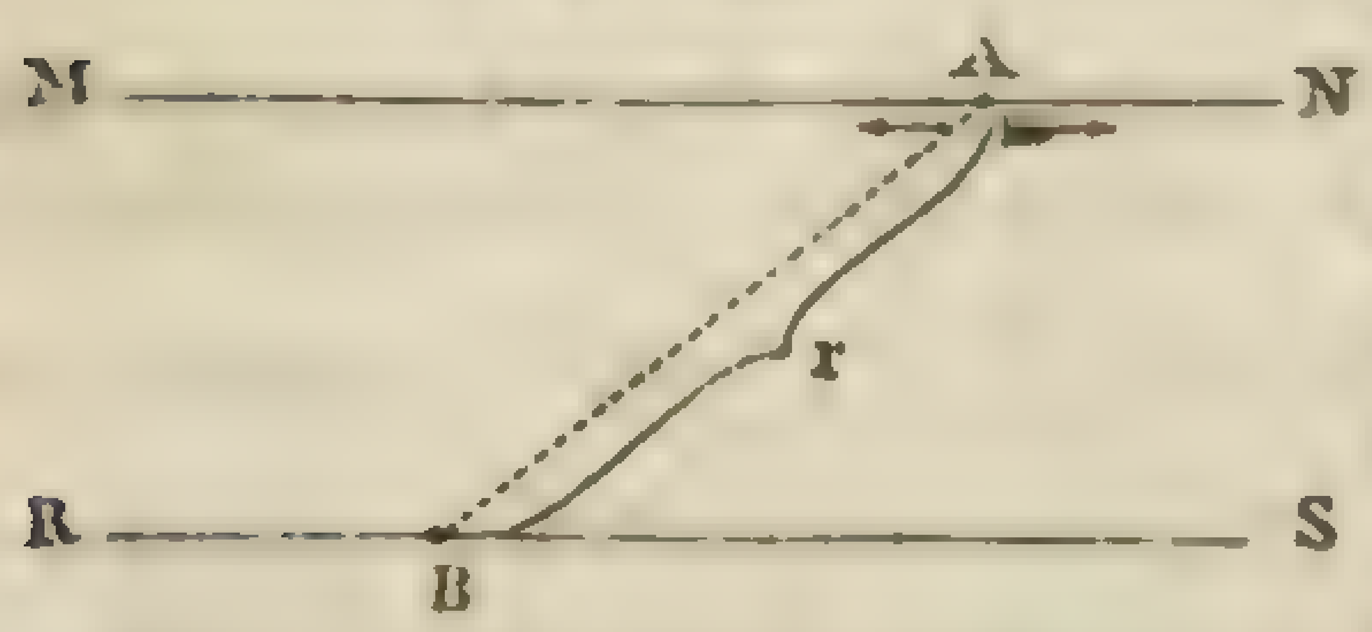
$$2\frac{\varepsilon\,\varepsilon'}{r^2}(1+bg)-2\frac{\varepsilon\,\varepsilon'}{r^2}=2\frac{\varepsilon\,\varepsilon'}{r^2}bg,$$

also eine Anziehung, wie es auch das Ampère'sche Gesetz verlangt.

125 **Die Volta-Induction** ergiebt sich als nothwendige Folge der Weber'schen Theorie. Wir müssen uns begnügen, dies an einem speciellen, einfachen Fall der Art nach zum Verständniß zu bringen.

In Fig. 365 seyen MN und RS zwei parallele Leitungsdrähte; RS sey stromlos, während in MN in einem bestimmten Augenblick ein Strom zu circuliren beginnt. — Sehen wir nun, welche Wirkung die beiden elektrischen Theilchen, welche in diesem Moment von A aus nach entgegengesetzten Seiten auseinander zu fahren beginnen, auf das Theilchen B des anderen Drahtes ausüben. Die relative Geschwindigkeit der elektrischen Partikelchen in A und B ist für den Moment, wo der Strom beginnt, gleich Null, dagegen beginnt die Bewegung mit einer bestimmten Beschleunigung. Bezeichnen wir mit g die relative Beschleunigung des positiven Stromtheilchens in A, gegen B, so ist sie für das negative gleich $-g$, und wir erhalten folgende Wechselwirkungen zwischen den elektrischen Theilchen in A und B, wenn wir die positive Elektricität in A und B mit $+e$ und e', die negative mit $-e$ und $-e'$ bezeichnen:

Fig. 365.



$$+e \text{ auf } +e' \quad -\frac{e\,e'}{r^2}(1+bg)$$

$$+e \text{ auf } -e' \quad +\frac{e\,e'}{r^2}(1+bg)$$

$$-e \text{ auf } -e' \quad -\frac{e\,e'}{r^2}(1-bg)$$

$$-e \text{ auf } +e' \quad +\frac{e\,e'}{r^2}(1-bg).$$

Die Summe dieser vier Wechselwirkungen ist Null, es findet also keine elektrodynamische Wirkung zwischen den beiden Leitungsdrähten Statt. Dage-

gen ist die Summe der Wirkungen, welche auf $+ e'$ ausgeübt werden, gleich

$$- 2 \frac{e e'}{r^2} b g;$$

und ist die Summe der auf $- e'$ wirkenden Kräfte gleich

$$+ 2 \frac{e e'}{r^2} b g;$$

auf die positive und negative Elektricität in B wirken also ungleiche Kräfte, und die Kraft, welche sie in der Richtung von r zu trennen strebt, ist die Differenz dieser Kräfte.

Die Kraft, welche die entgegengesetzten Elektricitäten nach der Richtung der Linie r zu trennen strebt, haben wir nun nach der Richtung RS zu zerlegen, um die elektromotorische Kraft zu erhalten, mit welcher der in MN entstehende Strom einen Strom in RS zu induciren strebt. Wie man sieht, wird beim Entstehen eines Stromes in MN jede Elektricität im Draht RS nach einer Richtung fortgetrieben, welche der entgegengesetzt ist, mit welcher sich die gleichnamige Elektricität in MN bewegt.

Siebentes Kapitel.

Diamagnetismus.

Drehung der Polarisationsebene durch magnetisirende Kräfte. 126

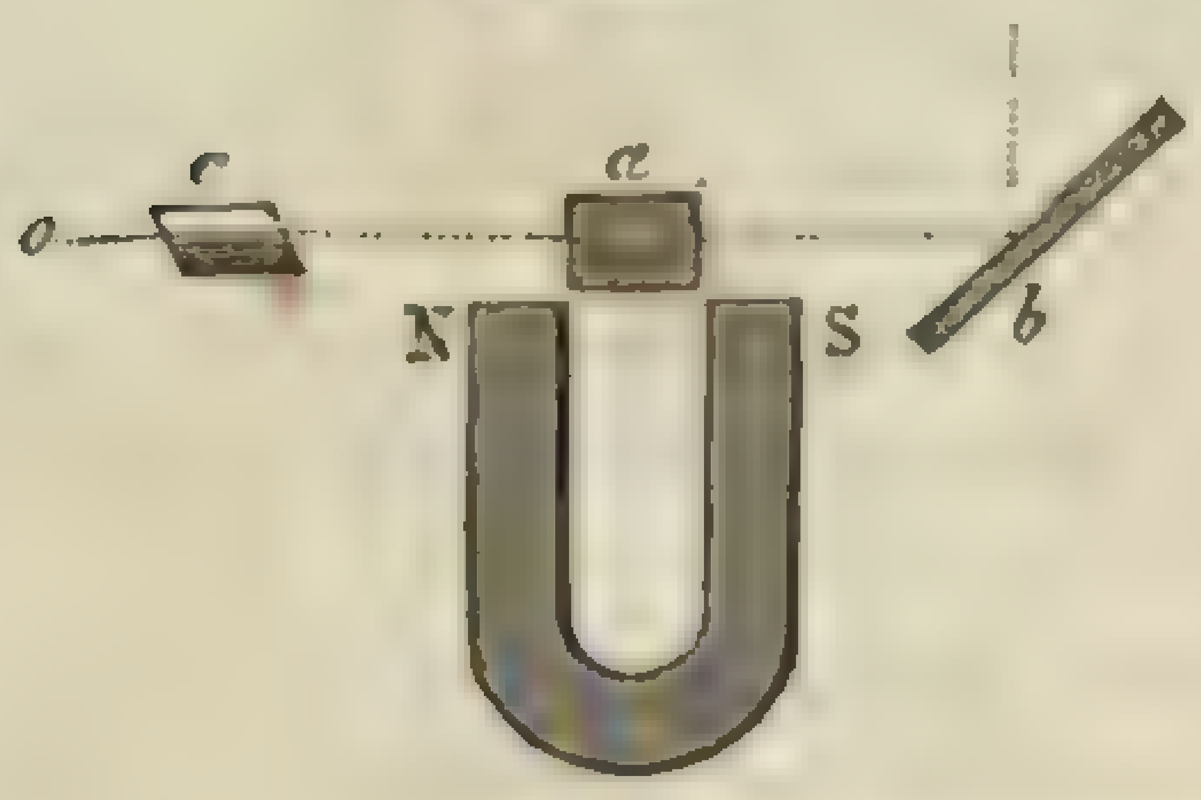
Nachdem Faraday die galvanische Induction entdeckt hatte, sprach er alsbald die Ansicht aus, daß der Strom im Hauptdrahte doch höchst wahrscheinlich fortdauernd auf den Nebendraht wirke, daß er ihn in einen eigenthümlichen Zustand versetze, den er mit dem Namen des elektrotonischen Zustandes bezeichnete. Den beim Schließen des Hauptstromes im Nebendrahte inducirten Strom betrachtete Faraday als den Ausdruck des Ueberganges vom gewöhnlichen Zustande des Nebendrahtes in den elektrotonischen, während sich die Rückkehr aus dem veränderten Zustande in den gewöhnlichen als Oeffnungsschlag kundgiebt.

Nicht allein auf einen geschlossenen Draht, sondern überhaupt auf alle, selbst auf nichtleitende Körper, sollte nun nach Faraday's Ansicht eine solche Wirkung ausgeübt werden. In einigen Körpern, in Eisen, Nickel u. s. w., wird durch den Einfluß des Stromes ein Zustand hervorgerufen, welchen wir als den magnetischen kennen. Von dem elektrotonischen Zustande, in welchen des Magnetismus nicht fähige Körper durch den elektrischen Strom versetzt werden, hatte man bis dahin noch keine positiven Wahrnehmungen gemacht, bis es endlich dem unermüdlichen Bestreben Faraday's gelang, durch optische Mittel wirklich eine Veränderung des Molekularzusammenhanges verschiedener Körper durch magnetisirende Einflüsse darzuthun.

Ein Stück kieselborsaures Bleioxyd, welches Faraday kurz auch schweres Glas nennt, von ungefähr 2 Zoll Länge, wurde in der Art zwischen die beiden Pole N und S eines Elektromagneten gebracht, wie es

Fig. 366 zeigt. Durch dieses Glasstück *a* ging nun ein Lichtstrahl in einer Richtung hindurch, welche mit der Verbindungslinie der beiden Pole *N* und *S* parallel ist. Dieser von einer Argand'schen Lampe kommende Strahl war durch den Glasspiegel *b* polarisirt und wurde durch das Nichol'sche Prisma *c* analysirt.

Fig. 366.



Das Prisma *c* wurde so gedreht, daß nach Wegnahme von *a* das Gesichtsfeld dunkel erschien, daß also die Polarisationsebene des Prismas *c* rechtwinklig zu der des Polarisationsspiegels *b* war. Durch Zwischenbringung von *a* wurde nichts geändert, das Gesichtsfeld blieb dunkel, so lange kein Strom durch die Drahtwindungen des Elektromagneten ging; sobald aber das weiche Eisen durch den elektrischen Strom magnetisch gemacht wurde, erschien das Gesichtsfeld hell; man mußte das Nichol'sche Prisma nach der rechten oder linken Seite drehen, um das Gesichtsfeld wieder dunkel zu machen.

Durch die Einwirkung des Elektromagneten auf *a* war also die Polarisationsebene der von *b* kommenden Strahlen nach der rechten oder linken Seite gedreht worden.

Mit einem starken Stahlmagneten kann man nur eine sehr unbedeutende Drehung der Polarisationsebene erlangen; mit einem solchen ist also die Erscheinung nicht sehr deutlich. Der Elektromagnet, den Faraday anwendete, war so stark, daß ein Pol für sich allein 28 bis 56 Pfund tragen konnte.

Ist durch die Einwirkung des Elektromagneten das vorher dunkle Gesichtsfeld hell gemacht worden, so wird es alsbald wieder dunkel, wenn man den Strom unterbricht.

Ist der dem Beobachter in *o* zunächst liegende Pol ein Nordpol, so ist die Polarisationsebene nach der rechten gedreht; nach der linken aber, wenn der Südpol dem Beobachter zugekehrt ist.

Wäre an die Stelle von *a* ein Eisenstab gebracht worden, so wäre er in einen Magneten verwandelt worden. Die Richtung, nach welcher ein in *a* befindliches Eisen vom positiven Strom umkreist werden müßte, um ihm dieselbe Polarität mitzutheilen, die es unter dem Einfluß der Magnetpole *N* und *S* erhält, ist dieselbe, nach welcher die Polarisationsebene im schweren Glase durch den Einfluß derselben Magnetpole gedreht wird.

Auch ein einziger Pol kann schon die erwähnten Wirkungen hervorbringen. Wird das kiesel-borsaure Bleioxyd neben den einen Pol eines kräftigen stabförmigen Elektromagneten gebracht, so ist auch hier eine Drehung der Polarisationsebene eines polarisirten Strahles zu beobachten, welcher das schwere Glas durchläuft.

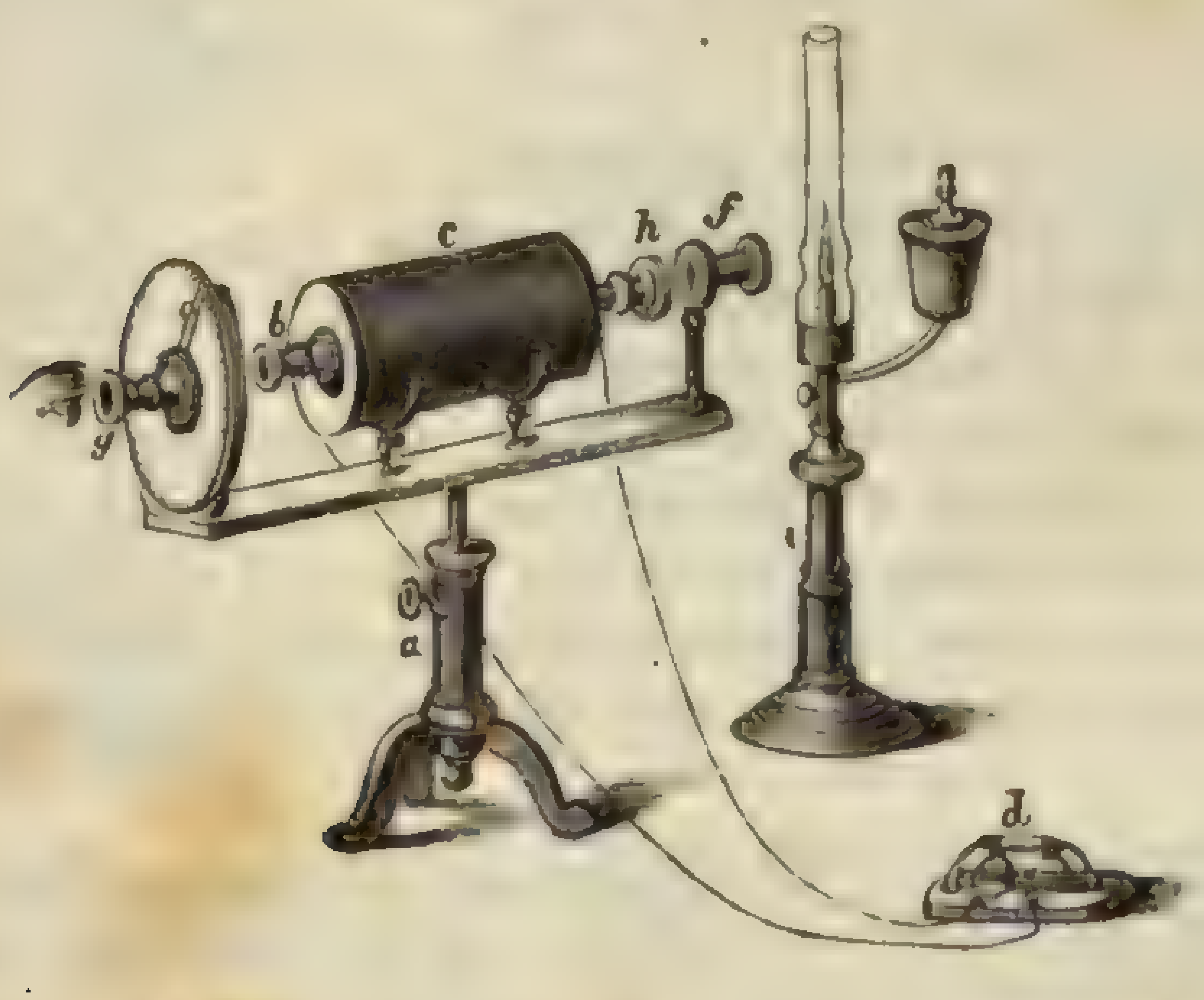
Die Drehung der Polarisationsebene wird am vollständigsten beobachtet, wenn der Strahl in derjenigen Richtung durch das schwere Glas geht, welche die Axe des Magneten seyn würde, welcher entstände, wenn man für das schwere Glas ein Stück Eisen substituirte.

Auch an anderen durchsichtigen festen und flüssigen Körpern wurde eine solche Drehung der Polarisationsebene, wenn auch in geringerem Maaße, beobachtet.

Nach den erwähnten Erscheinungen ließ sich erwarten, daß ein elektrischer Strom, in Form eines Schraubendrahtes um die durchsichtigen Körper herumgeleitet, ebenfalls eine Drehung der Polarisationsebene bewirken müsse. Faraday fand dies vollkommen bestätigt.

Fig. 367 stellt einen Apparat dar, wie ihn Böttger auf die erste Nachricht der Faraday'schen Entdeckung construirte, um die Drehung der Polarisationsebene durch den elektrischen Strom zu zeigen.

Fig. 367.



... g und f sind zwei Nichol'sche Prismen; bh ist eine an beiden Enden mit Glasplatten verschlossene Messingröhre, die mit der zu untersuchenden Flüssigkeit gefüllt ist; sie steckt in der Höhlung einer Magnetisirungsspirale. Man sieht durch die beiden Nichol'schen Prismen und die mit der Flüssigkeit gefüllte Röhre nach der Flamme einer Argand'schen Lampe. Das Ocularprisma g wird so gedreht, daß das Gesichtsfeld dunkel ist; läßt man nun einen kräftigen galvanischen Strom durch die Spirale gehen, so erscheint alsbald die Flamme wieder, und man muß g nach der rechten oder linken Seite drehen, um sie wieder verschwinden zu machen.

Der Gyrotrop d dient zur leichteren Richtungsänderung des Stromes.

Wie sich nach den mit dem Elektromagneten erhaltenen Resultaten erwarten ließ, wird die Polarisationsebene des Strahles nach derselben

Richtung gedreht, nach welcher der positive Strom in der Spirale circulirt.

Bringt man Körper, welche schon von Natur ein Drehungsvermögen besitzen, in die Rolle, so addirt oder subtrahirt sich der Effect des elektrischen Stromes zu dem ihrer eigenen Kraft, je nachdem der Strom die Polarisationsebene nach derselben oder nach der entgegengesetzten Richtung dreht, wie die Flüssigkeit selbst.

Zwischen der Drehung der Polarisationsebene durch den elektrischen Strom und der Drehung derselben in einem Körper, welcher die Eigenschaft der Circularpolarisation besitzt, besteht ein wesentlicher Unterschied.

In Fig. 368 stelle der Cylinder *M* ein Diamagneticum (so nennt Faraday alle Körper, auf welche der Magnetismus in anderer Weise wirkt, als auf magnetische Körper) dar, welches in der Richtung der Pfeile von elektrischen Strömen umkreist wird, so wird auch die Polarisationsebene eines Strahles, welcher *M* in der Richtung der Axe durchläuft, stets nach der Richtung der Pfeile gedreht. Geht nun der Strahl in der Richtung von *a* nach *b* fort, so beobachtet also ein in *b* befindliches Auge eine Drehung nach der Linken, während, wenn der Strahl sich von *b* nach *a* fortpflanzte, ein in *a* befindliches Auge unter sonst ganz gleichen Umständen eine Drehung nach der Rechten beobachtet. Bei circularpolarisirenden Körpern ist das nicht so. Wäre *M* ein rechtsdrehender circularpolarisirender Körper, so würde man die Polarisationsebene nach der rechten Seite gedreht finden, möchte man nun von *b* nach *a* oder von *a* nach *b* schauen.

Fig. 368.

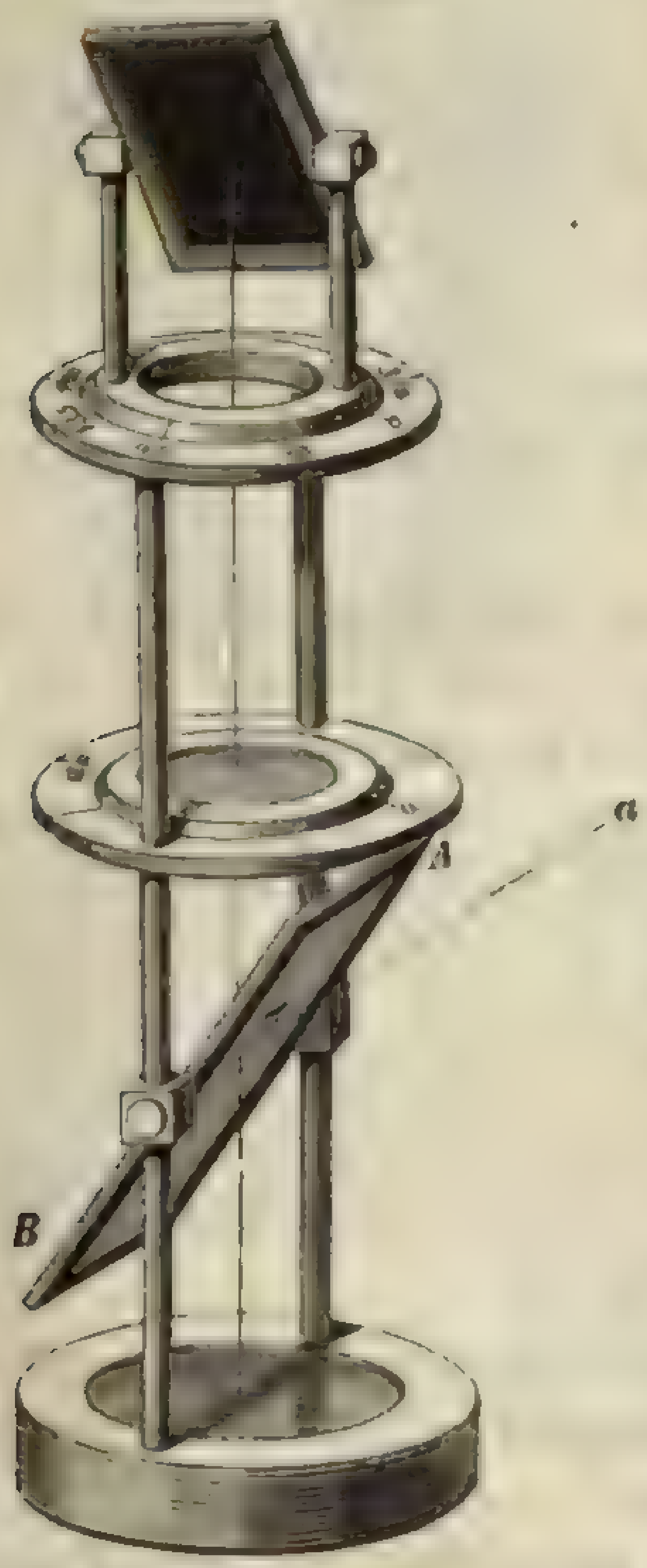


Dringt ein Lichtstrahl in ein circularpolarisirendes Mittel in der Richtung von *b* nach *a* ein, so würde, vorausgesetzt, daß das Mittel ein rechtsdrehendes ist, einem in *a* befindlichen Auge die Polarisationsebene des einfallenden Strahles nach der rechten Seite, also in der Richtung der Pfeile gedreht erscheinen. Wenn aber nun die Endfläche links belegt ist, so daß der sie treffende Strahl reflectirt wird, so wird der reflectirte Strahl eine solche Drehung der Polarisationsebene erleiden, daß sie einem in *b* befindlichen Auge nach der rechten Seite gedreht erscheint, für den reflectirten Strahl findet also eine Drehung der Polarisationsebene in einer der Richtung der Pfeile entgegengesetzten Richtung Statt.

Absolut genommen, ist also die Richtung der Drehung der Polarisationsebene vor und nach der Spiegelung eine entgegengesetzte, die Drehung, welche die Polarisationsebene des Strahles von seiner Reflexion erlitten hat, wird durch die entgegengesetzte Drehung, die er nach seiner Reflexion erleidet, wieder aufgehoben; das Auge in *b* wird also gar keine Drehung der Polarisationsebene an dem von *a* her kommenden Strahl beobachten können.

Legt man eine senkrecht zur Axe geschnittene Quarzplatte auf den mittleren Tisch des Nörremberg'schen Polarisationsapparates, so beobachtet man die schon im ersten Bande beschriebenen Erscheinungen der Circularpolarisation; legt man aber die Quarzplatte auf den belegten Spiegel *c* im Fuße des Polarisationsapparates Fig. 369, so tritt der eben besprochene Fall ein: man beobachtet keine Drehung der Polarisationsebene mehr.

Fig. 369.



Da die Drehung der Polarisationsebene durch den Einfluß des elektrischen Stromes nur von der Richtung dieses Stromes abhängt, da sie absolut dieselbe ist, mögen die Strahlen nach der einen oder nach der anderen Seite fortgehen, so findet hier keine Aufhebung der Drehung der Polarisationsebene Statt, wenn der Strahl an der Rückwand gespiegelt wieder zurückläuft.

Wenn der Körper *M*, Fig. 368, durch elektrische Ströme die Eigenschaft erhalten hat, die Polarisationsebene zu drehen, so wird ein in *b* befindliches Auge die Polarisationsebene des an der anderen Endfläche reflectirten Strahles doppelt so stark gedreht finden, als wenn der Strahl hier ausgetreten und nach *a* gelangt wäre.

Faraday hat dies sehr sinnreich benutzt, um die Drehung der Polarisationsebene in einem kurzen Stück eines Diamagneticums sehr merklich zu machen.

Ein Parallelepiped von schwerem Glase, 2,5 Zoll lang, dessen Querschnitt ein Quadrat von 7 Linien Seite war, wurde an beiden Enden polirt und versilbert. Auf der einen Seite wurde die Belegung bei *a*, auf der anderen Seite wurde sie bei *b* auf etwa 1 Linie Breite weggenommen, so daß ein bei *a* etwas schräg eintretender Strahl, nachdem er den Körper mehrmals hin- und hergehend durchlaufen hatte, bei *b* austreten konnte. Hat der Strahl auf diese Weise 5, 7, 9 u. s. w. mal die ganze Länge des Diamagneticums durchlaufen, so ist die Drehung der Polarisationsebene 5, 7, 9 u. s. w. mal so groß, als wenn er nur einmal gerade durchgegangen wäre.

Fig. 370.



Bei der Art und Weise, wie Faraday seine Versuche zuerst anstellte, ist die Drehung der Polarisationsebene selbst bei den geeigneteren Substanzen doch

nur eine sehr geringe, wenn man nicht den Strahl wiederholt durch den Körper gehen läßt. Man war deshalb von verschiedenen Seiten her bemüht, die Erscheinung auffallender zu machen. Um dies zu erreichen, wurden nur zwei Wege eingeschlagen; einmal suchte man den optischen Theil des Apparates in der Weise zu vervollkommnen, daß schon eine geringe Drehung der Polarisationsebene merklicher gemacht wurde, dann aber suchte man die Apparate so zu construiren und anzuordnen, daß sie an und für sich eine stärkere Drehung bewirkten.

Um kleine Drehungen merklich zu machen, ist die doppelte Quarzplatte angewandt worden, die wir bereits im ersten Bande dieses Lehrbuches kennen gelernt haben.

Diese doppelte Platte ist nun dicht hinter dem Nichol angebracht, durch welches der Lichtstrahl in den Apparat eintritt; dann folgt der auf die elektromagnetische Drehung der Polarisationsebene zu untersuchende Körper, und endlich das Ocularnichol, welches so gestellt wird, daß die beiden Hälften der doppelten Platte gleich gefärbt erscheinen, wenn der Elektromagnet nicht durch den galvanischen Strom erregt ist. Sobald nun der Strom den Elektromagneten zu umkreisen beginnt, wird die Polarisationsebene in dem zwischen den Magnetpolen befindlichen Körper gedreht, und in Folge dessen werden nun die beiden Hälften der Doppelplatte ungleich gefärbt erscheinen; man muß das Ocularnichol um eine bestimmte Anzahl von Graden drehen, wenn die Gleichheit der Färbung wieder hergestellt werden soll.

Eine andere Methode, kleine Drehungen der Polarisationsebene merklich zu machen, besteht darin, daß man das Ocularnichol durch ein achromatisirtes Kalkspath- oder Quarzprisma ersetzt, welches doppelte Bilder giebt. Ist nun vor dem Nichol, durch welches die Strahlen polarisirt werden, eine Blendung mit kreisförmiger Oeffnung angebracht, so wird man im Allgemeinen zwei Bilder dieser Oeffnung sehen. Der ganze Apparat muß nun genau so adjustirt werden, daß diese beiden kreisförmigen Bilder einander gerade berühren, und dann dreht man das Ocularprisma so, daß die beiden Bilder ganz gleich hell erscheinen, wenn keine Circularpolarisation zwischen dem Nichol und dem Zerlegungsprisma stattfindet; sobald diese aber nun durch Schließung der Kette bewerkstelligt wird, hört die Gleichheit der beiden Bilder auf, und dies ist um so merklicher, weil sie unmittelbar neben einander liegen.

Um eine möglichst starke Drehung der Polarisationsebene zu erhalten, setzte E. Becquerel auf die Pole eines vertikal stehenden Uförmigen Elektromagneten parallelepipedische Stücke von weichem Eisen, welche 11 Centimeter breit (gleich dem Durchmesser der Schenkel seines Elektromagneten), 16 Centimeter lang und 5 Centimeter hoch waren. Diese Stücke waren ihrer Länge nach durchbohrt, und zwar hatte die Höhlung 2 Centimeter Durchmesser; gehörig aufgesetzt, bildet die eine dieser Röhren genau die Verlängerung der anderen. Die zu untersuchende Substanz wird zwischen diese Eisenstücke angebracht, welche man, je nach den Umständen, bald mehr einander nähern, bald weiter

von einander entfernen kann. Aus Fig. 371 kann man die Disposition des Apparates ersehen. Die Nichol'schen Prismen sind bei *c* und *d* angebracht.

Fig. 371.



Die Mittel, mit welchen Becquerel experimentirte, waren sehr bedeutend. Der Durchmesser des Eisenkerns seines Elektromagneten betrug, wie der, mit welchem Faraday operirte, 11 Centimeter. Auf jeden Schenkel waren 910 Meter eines 2 Millimeter dicken Kupferdrahtes aufgewunden.

Feste Körper, die man dem Versuch unterwerfen will, werden mit parallelen Flächen versehen, Flüssigkeiten aber zwischen parallelen Wänden von dünnem Glas an die entsprechende Stelle des Apparates gebracht. Damit diese Körper nicht zerdrückt werden, wenn nach Schließung der Kette die beiden Eisenstücke sich anziehen, wird zwischen dieselben noch eine Holzplatte gebracht, welche um etwas dicker ist, als die zu untersuchende Platte.

In einem Prisma von schwerem Glase (kiesel-borsaurem Bleioxyd) von 48 Millimeter Länge betrug die mit dem beschriebenen Apparat hervorgebrachte Drehung der Polarisationsebene (für die Strahlen von mittlerer Brechbarkeit) 16°, und zwar bei Anwendung einer Säule von 40 bis 50 mit starker Säure gefüllten Bunsen'schen Bechern.

Auf eine sehr zweckmäßige Weise benutzte Bertin die Eigenschaft der magnetischen Circularpolarisation, daß ein Strahl, welcher im Diamagneticum hin und her geht, doppelt so stark gedreht erscheint, als wenn er nur einmal die Dicke desselben durchlaufen hätte, indem er einen Nörremberg'schen Polarisationsapparat geradezu auf den einen Pol des (vertikalstehenden) Elektromagneten setzte. Der belegte horizontale Spiegel *c* dieses Polarisationsapparates wurde auf die Fläche des Elektromagneten gebracht und auf diesen ein Stück Faraday'schen Glases. So lange kein Strom durch den Apparat geht, sieht man das Gesichtsfeld dunkel, wenn die Polarisationsebenen des unteren Polarisationsspiegels und des Zerlegers gekreuzt sind; so wie aber der Strom durch die Drahtwindungen geht, erscheint die Platte hell, und man muß den Zerleger nach der rechten Seite drehen, wenn der Polarisationsapparat auf einem Südpol steht, nach der linken im entgegengesetzten Fall, um wieder ein Minimum von Lichtstärke zu erhalten. Für eine 18^{mm} dicke Platte Faraday'schen Glases betrug diese Drehung 10°, für eine 48^{mm} dicke betrug sie 21°.

Mit solchen Elektromagneten, wie er oben Seite 254 abgebildet ist, dessen Eisen 35^{mm} Durchmesser hatte, erhielt ich nach der Bertin'schen Methode nur höchst unbedeutende Wirkungen. Um sie zu verstärken, ging ich darauf aus, auch bei Anwendung des Nörremberg'schen

Polarisationsapparates das Diamagneticum zwischen zwei Magnetpole zu bringen. Die Art und Weise, wie ich dies bewerkstelligte, ist in

Fig. 372.

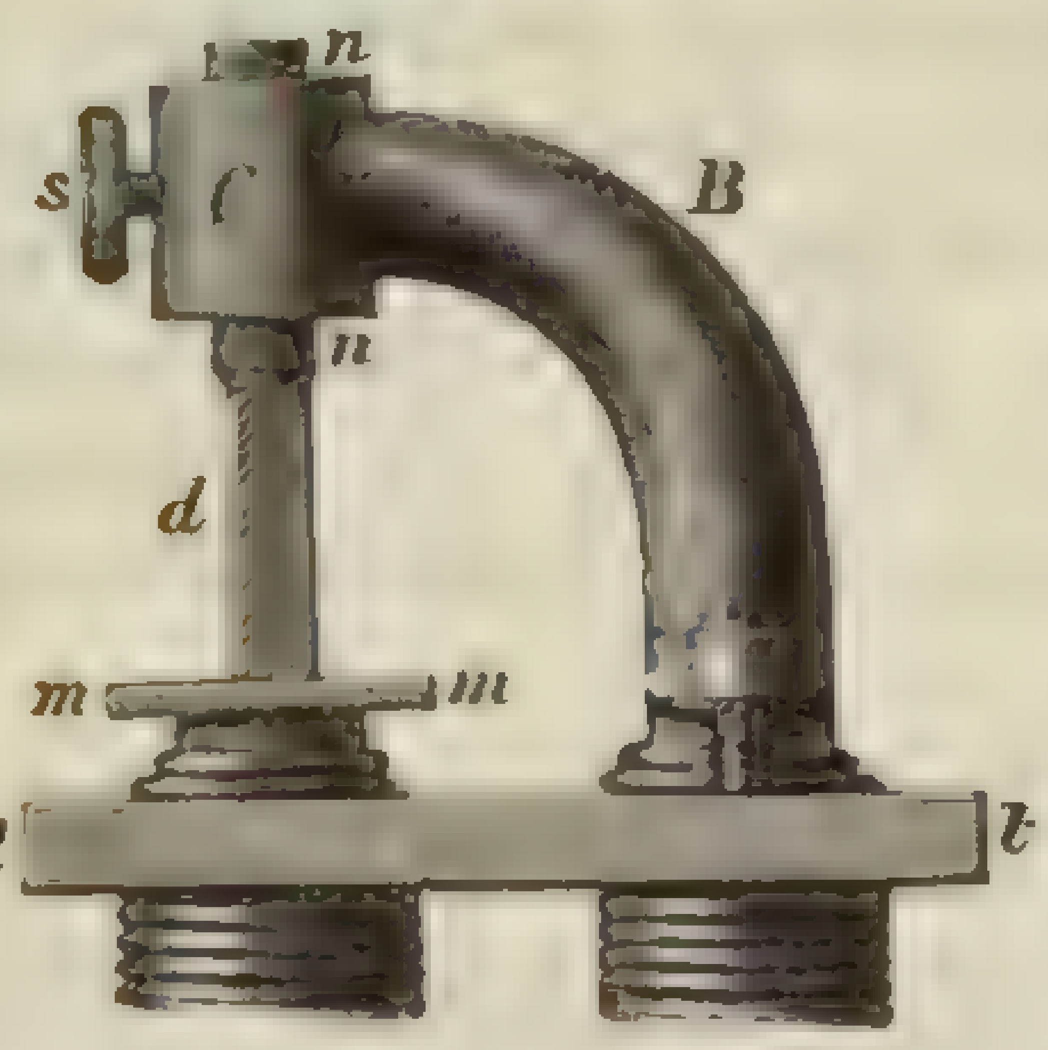


Fig. 372 dargestellt. Auf den einen Pol des Elektromagneten wird ein eiserner Bügel *B* aufgesetzt und durch Holzschrauben festgehalten, welche in das Brettchen *l* eingelassen sind. Gerade über der Mitte des anderen Poles endigt der Bügel *B* mit einem hohlen Eisencylinder *C*, in welchem ein eisernes Rohr *nn* von wenigstens 2‴ innerer Oeffnung und nahe 2‴ Wanddicke auf- und abgeschoben, und mittelst der Schraube *s* an jeder beliebigen Stelle festgestellt werden kann. *nn* wird so gerichtet, daß es genau auf der oberen Fläche des Diamagneticums *d* aufsitzt, welches auf dem belegten Spiegel *mm* des Nörremberg'schen Apparates steht. Mittelst dieser Vorrichtung habe ich bei Anwendung von 20 Bunsen'schen Elementen (5 vierfachen) in einem 5 Centimeter hohen Säulchen von gewöhnlichem Flintglas eine Drehung der Polarisationsebene von 9° bei Umkehrung der Polarität erhalten. Die Dimensionen dieser Vorrichtung hängen natürlich von dem Apparat ab, an welchem sie angebracht werden soll.

Faraday hielt es für wahrscheinlich, daß in wässerigen Lösungen das Wasser und nicht der gelöste Stoff die drehende Substanz sey; Bertin hat dargethan, das dies nicht der Fall ist. Zunächst fand er, daß gerade die wasserfreien Flüssigkeiten die stärkste magnetische Circularpolarisation zeigen; dann aber auch, daß es unter den gelösten Stoffen einige giebt, welche das Drehungsvermögen des Wassers vermehren, andere, welche es vermindern.

Bei einer Dicke von 1 Centimeter fand er die Drehung in einigen wasserfreien Flüssigkeiten folgendermaßen:

Zinnchlorid	7° 30′
Schwefelkohlenstoff . .	7° 0
Phosphorchlorid . . .	5°

während eine gleich dicke Wasserschicht unter denselben Umständen die Polarisationsebene nur um 2° 20′ dreht.

Den Einfluß der Verdünnung zeigen folgende Beobachtungen. Bei einer Dicke von 13 Millimeter und unter stets gleichen Umständen drehte

eine concentrirte Lösung von Chlornatrium .	6°	20′
dieselbe Menge Salz in der 2fachen Wassermenge	4	55
» » » » 4 » »	4	40
» » » » 8 » »	4	0
reines Wasser	3	40

Mit einigen anderen concentrirten Lösungen erhielt er folgende Resultate:

Drehung einer concentrirten Lösung von		Drehung einer gleich dicken Wasserschicht unter denselben Umständen
Chlormagnesium	6° 5′	3° 30′
Chlorzink	10 0	4 30
Chlorstrontium	5 30	4 15
Salpetersaures Ammoniak	3 45	4 55
Schwefelsaures Eisen	4 20	6 0

Das Drehungsvermögen des Schwefelkohlenstoffs ist dreimal größer als das des Wassers, und halb so groß als das des Faraday'schen Glases; diese Flüssigkeit ist deshalb sehr geeignet, bei diesen Versuchen die seltenen Gläser zu ersetzen.

Das Drehungsvermögen des Alkohols fand Bertin, wie seine Vorgänger, kleiner als das des Wassers.

Gesetz der Dicke und des Abstandes. Bei einer und derselben Sub- 127
stanz ändert sich die Stärke der Drehung mit der Dicke; allein das Gesetz dieser Drehung ist von verschiedenen Experimentatoren, welche sich mit dieser Aufgabe beschäftigt haben, verschiedn angegeben worden. Einige sagen: die Drehung sey proportional der Dicke, nach Anderen ist dies nicht der Fall. Bertin hat das Verhältniß der Dicke zur Drehung einer genauen Prüfung unterworfen.

Betrachtet man nur die Wirkung eines Pols, so ist klar, daß sie von Schicht zu Schicht abnehmen muß, bis zu einer gewissen Entfernung, in welcher der Pol keine drehende Wirkung mehr ausüben kann. Da sich die Drehungen in den einzelnen Schichten addiren, so ist klar, daß, wenn man wachsende Dicken desselben Körpers dem Einfluß eines einzigen Pols unterwirft, die Drehungen mit der Dicke bis zu einer gewissen Gränze zunehmen, von welcher an eine Vermehrung der Dicke keinen merklichen Einfluß mehr ausübt.

Bringt man die Substanz zwischen zwei Pole, so ist klar, daß sich die Wirkung verdoppeln, daß aber das Gesetz derselben bleiben muß, wobei nur noch in Betracht zu ziehen ist, daß, wenn man die Pole stets mit dem Diamagneticum in Berührung erhält, man bei wachsender Dicke desselben die Pole selbst weiter aus einander rücken muß, wobei ihre Stärke nothwendig abnimmt.

Zwischen den verschiebbaren Polen eines Becquerel'schen Apparates beobachtete unter anderen Bertin folgende zusammengehörige Dicken und Drehungen an Wasser:

Dicke der Schicht	Drehung
1 Centimeter	2° 0′
2 »	3 30
3 »	4 25
13 »	5 0
15 »	5 0

wodurch die oben angedeutete Ansicht gerechtfertigt erscheint.

Um zu einem bestimmten Gesetze zu kommen, untersuchte Bertin zunächst die Wirkung, welche ein kräftiger (Elektro-) Magnetpol auf dasselbe Stück eines Diamagneticums in verschiedenen Entfernungen hervorbrachte. Die folgende Tabelle enthält die Resultate einer in dieser Beziehung angestellten Beobachtungsreihe:

Versuche mit Faraday'schem Flintglase
38,9^{mm} dick.

Abstand des Glases von dem Pol.	Beobachtete Drehung.	$\frac{y'}{y}$	Berechnete Drehung.	Unterschied zwischen d. berechn. u. beob. Drehung
0^{mm}	11° 12		11° 12′	0
1	11 0	0,9821	10 56	−4′
2	10 25	0,9470	10 44	+19
3	10 7	0,9712	9 57	−10
4	9 50	0,9719	9 51	+ 1
5	9 30	0,9661	9 35	+ 5
6	9 20	0,9824	9 16	− 4
7	9 47	0,9417	9 4	−17
8	8 35	0,9772	8 34	− 1
9	8 20	0,9709	8 22	+ 2
10	7 55	0,9508	8 6	+11

Man übersieht leicht, daß, wenn man die Entfernungen in arithmetischer Reihe wachsen läßt, alsdann die entsprechenden Drehungen in geometrischer Reihe abnehmen; denn wenn man die nächstfolgende Drehung durch die vorhergehende dividirt, so erhält man sehr nahe denselben Quotienten, wie man aus der dritten Columne obiger Tabelle ersieht. Bezeichnen wir durch A die im Contact mit dem Pole vom Flintglas erzeugte Drehung, und mit Ar die von demselben in 1 Millimeter Abstand erzeugte, so ist die Wirkung in x^{mm} Abstand

$$y = Ar^x.$$

Nach dieser Formel sind die Werthe in der vierten Columne der obigen Tabelle berechnet, indem man $r = 0{,}97587$ setzte, was nahezu dem Mittel aus den Quotienten der ersten Versuchsreihe gleich ist.

Man sieht, daß die Differenzen zwischen den beobachteten und den berechneten Drehungen innerhalb der Beobachtungsfehler fallen, daß also die Versuche das durch die Gleichung $y = Ar^x$ ausgedrückte Gesetz rechtfertigen.

Diese Formel wird zu einem Gesetze führen, welches die Drehung mit der Dicke verknüpft, vorausgesetzt, daß jede einzelne Schicht eines Körpers dieselbe Einwirkung erleidet, wie wenn sie allein da wäre.

Um sich davon zu überzeugen, daß dies wirklich der Fall ist, brachte Bertin zwei Flintgläser in Contact zwischen die beiden Pole in bestimmten Lagen und beobachtete die Drehungen, die von den beiden Gläsern zusammen und einzeln in der Anfangs angenommenen Lage ausgeübt wurden. Es ergab sich, daß die erstere Drehung stets die Summe der beiden anderen ist. Folgendes sind einige der von Bertin in dieser Beziehung gemachten Beobachtungen:

Flintgläser.		Drehungen bewirkt von den Flintgläsern		Unterschied zwischen der dritten Zahl und der Summe der beiden ersten.
		einzeln.	zusammen.	
Faraday'sches	18,3mm dick	8° 10	25 10	— 5′
»	38,9	17 5		
»	38,9	12 15	19 32	+ 12′
Gemeines	43,5	7 5		

Die Wirkung eines Pols auf eine Schicht eines Körpers hängt also nach einem bekannten Gesetz allein von der Entfernung dieser Schicht vom Pole ab. (Bei dem Magnetisiren eines Eisenstabes, der in die Nähe eines Magnetpols gehalten wird, findet bekanntlich ein anderes Verhalten Statt).

Denken wir uns einen diamagnetischen Körper, welcher e Millimeter lang ist und mit der einen Endfläche einen Magnetpol berührt, in Schichten von 1mm Dicke zerlegt, bezeichnen wir ferner die durch den Pol in der ersten Schicht hervorgebrachte Drehung mit c, so ist die in der zweiten cr, die in der dritten cr^2 u. s. w., die in der letzten Schicht endlich cr^{n-1}; die im ganzen Körper hervorgebrachte Drehung ist also

$$c + cr + cr^2 + cr^3 + \ldots cr^{n-1} = c\,(1 + r + r_2 + \ldots r^{n-1})$$
$$= c\,\frac{1 - r^n}{1 - r}.$$

Derselbe Körper erleidet x^{mm} weit vom Pole entfernt, die Drehung

$$y = c\,\frac{1 - r^n}{1 - r}\,r^x.$$

Wenn der Körper gleichzeitig der Einwirkung der beiden Pole ausgesetzt ist, so wird die dadurch bewirkte Drehung durch die Formel

$$z = c\left(\frac{1 - r^n}{1 - r}\right)(r^x + r^{d-n-x})$$

ausgedrückt, wenn d die Entfernung der beiden Pole bezeichnet. Bertin fand die aus seiner Formel gezogenen Consequenzen durch zahlreiche Versuche bestätigt.

In dieser Formel scheint r weder von der Intensität des Magnetismus, noch von der Natur des Körpers abzuhängen; dagegen hängt c von beiden ab.

Wie c mit der Intensität des Magnetismus variirt, ist noch zu untersuchen; Bertin's Versuche zeigen aber, welches auch sonst das Gesetz seyn mag, daß der Coefficient c bei einer Veränderung der magnetischen Intensität für alle Substanzen in gleichem Verhältniß sich ändert. Mit einem Becquerel'schen Elektromagneten wurden z. B. bei einer bestimmten Stromstärke die beiden in der ersten Horizontalreihe der folgenden Tabelle stehenden Drehungen beobachtet; die folgenden bei zwei anderen Stromstärken.

Faraday'sches Flintglas 18,3mm dick.	Schwefelkohlenstoff 10mm dick.	Verhältniß der Drehungen.
7° 42′	3° 18′	0,43
13 48	6 0	0,43
19 0	8 18	0,43

Wie sich also auch die Intensität der Pole ändern mag, so bleibt das Verhältniß zwischen den Drehungen des Glases und des Schwefelkohlenstoffs doch stets dasselbe.

Bertin schlägt vor, die Größe c Coefficient der magnetischen Polarisation zu nennen. Setzt man diesen Coefficienten für das Faraday'sche Flintglas gleich 1, so ist er für

Gemeines Flintglas	0,53
Zinnchlorid	0,77
Schwefelkohlenstoff	0,74
Gelöstes Chlorzink	0,55
Gelöstes Chlorcalcium	0,45
Wasser	0,25
Alkohol 36° B	0,18
Aether	0,15

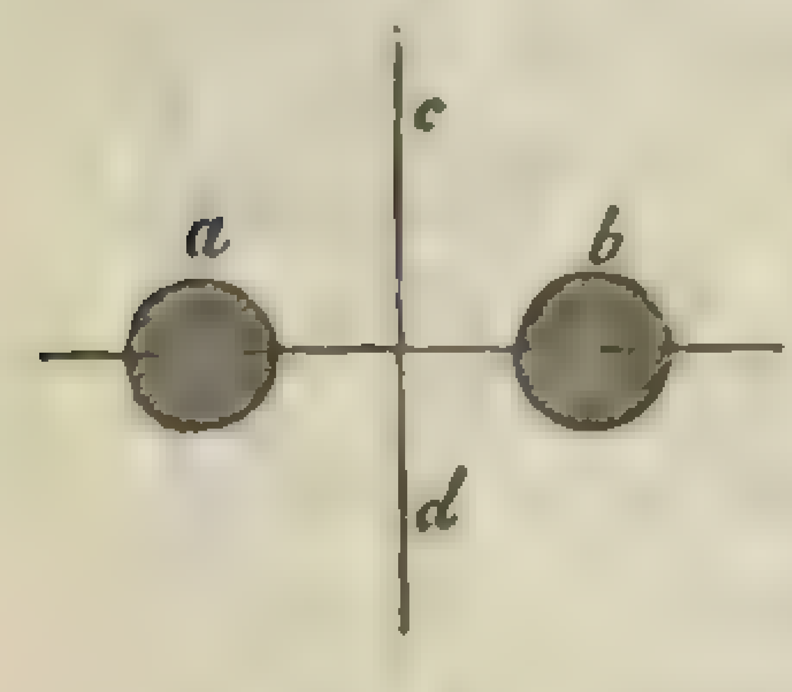
128 **Abstoßende Wirkung der Magnete auf nicht magnetische Körper.** Faraday war der Meinung, daß eine Einwirkung der Magnetpole auch auf undurchsichtige Körper stattfinden müsse, daß sie sich auch noch auf anderem als auf optischem Wege müsse darthun lassen. Er fand diese Ansicht durch spätere Versuche vollkommen bestätigt, indem er zeigte, daß die Magnetkraft auf alle Körper wirkt, daß aber die Wirkung auf magnetische Körper eine andere ist, als auf die diamagnetischen.

Bringt man einen Stab schweren Glases, an Seidenfäden so aufgehängt, daß seine Längenaxe horizontal ist und er sich in horizontaler Ebene frei drehen kann, zwischen die beiden Pole eines sehr kräftigen Elektromagneten (ein Pol muß für sich allein 50 Pfund tragen können), welcher so gestellt ist, daß

seine beiden Pole nach oben gerichtet sind, so beobachtet man die merkwürdige Erscheinung, daß sich der Glasstab rechtwinklig zu der Verbindungslinie der beiden Pole stellt und, aus dieser Lage herausgebracht, nach einigen Schwingungen stets wieder in dieselbe zurückkehrt.

In Fig. 373 seyen *a* und *b* die beiden nach oben gerichteten Pole eines vertikal gestellten kräftigen Elektromagneten, so ist *cd* die Lage, welche der Glasstab einnimmt. Hätte man statt des Glasstabes einen Eisenstab zwischen den Polen aufgehängt, so hätte er sich in die Richtung gestellt, welche die Magnetpole verbindet.

Fig. 373.



Faraday nennt die Richtung *ab* die axiale, *cd* die äquatoriale Lage. Ein Eisenstab stellt sich also zwischen den beiden Magnetnadeln axial, der Glasstab stellt sich äquatorial.

Eine Menge anderer Körper geben dasselbe Resultat; besonders stark zeigt sich die Kraft, welche den Stab in die äquatoriale Lage führt, beim Phosphor und Wismuth. Auch auf Flüssigkeiten übt der Magnet diese Wirkung aus.

Flintglas stellt sich ebenfalls äquatorial; wenn aber eine Röhre daraus sehr dünnwandig ist, giebt sie für sich allein nur eine sehr schwache Wirkung. Wird sie nun mit Flüssigkeit gefüllt, so ist die Wirkung so stark, daß man nicht zu fürchten braucht, den Effect des Glases mit dem der Flüssigkeit zu verwechseln.

Damit ein Körper die äquatoriale Stellung einnehme, ist es nöthig, daß er nach einer Richtung mehr ausgedehnt sey, als nach allen anderen, daß er also eine längliche, stabförmige Gestalt hat. Hängt man eine Kugel oder einen Würfel von Phosphor oder Wismuth in der Mitte zwischen beiden Magnetpolen auf, so richtet sich dieser nicht; einem der Pole genähert, beobachtet man aber eine Abstoßung, welche auffallend einer schwachen elektrischen Abstoßung ähnelt.

Auf die diamagnetischen Körper wirken also kräftige Magnetpole abstoßend; durch diese Abstoßung erklärt sich nun auch leicht, warum Stäbe diamagnetischer Körper sich zwischen den beiden Magnetnadeln äquatorial stellen.

In Beziehung auf ihr Verhalten gegen den Magnetismus zerfallen also alle Körper in zwei Abtheilungen, in die magnetischen und die diamagnetischen. Die magnetischen stellen sich axial, die diamagnetischen stellen sich äquatorial.

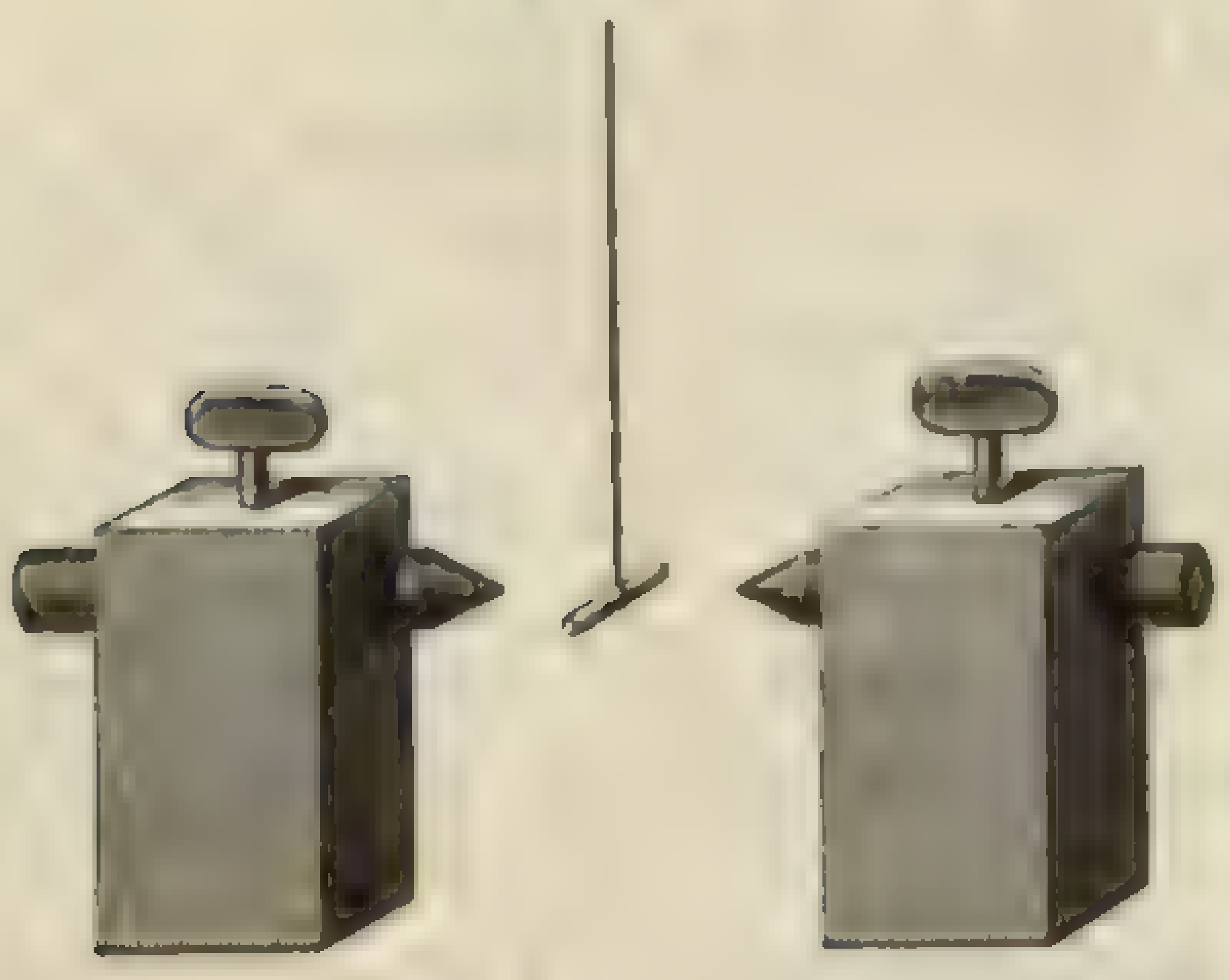
Durch Anwendung sehr kräftiger Elektromagnete ergiebt sich, daß die Klasse der magnetischen Körper zahlreicher ist, als man durch die gewöhnlichen Prüfungsmittel nachweisen konnte; es stellen sich nämlich sehr schwach magnetische Körper, die sonst keine Spur von Magnetismus zeigen, zwischen den Polen kräftiger Elektromagnete noch axial. Faraday fand durch dieses Mittel, daß außer den drei bekannten magnetischen Metallen auch noch Man-

gan, Chrom, Cer, Titan, Palladium, Platin und Osmium magnetisch sind.

Fast alle Eisenverbindungen erweisen sich zwischen den Polen des Elektromagneten als magnetisch, so z. B. grünes Bouteillenglas. Auch die Eisensalze sind magnetisch und stellen sich axial, mag man sie nun als Krystalle oder in aufgelöstem Zustande in dünnwandigen Glasröhren anwenden.

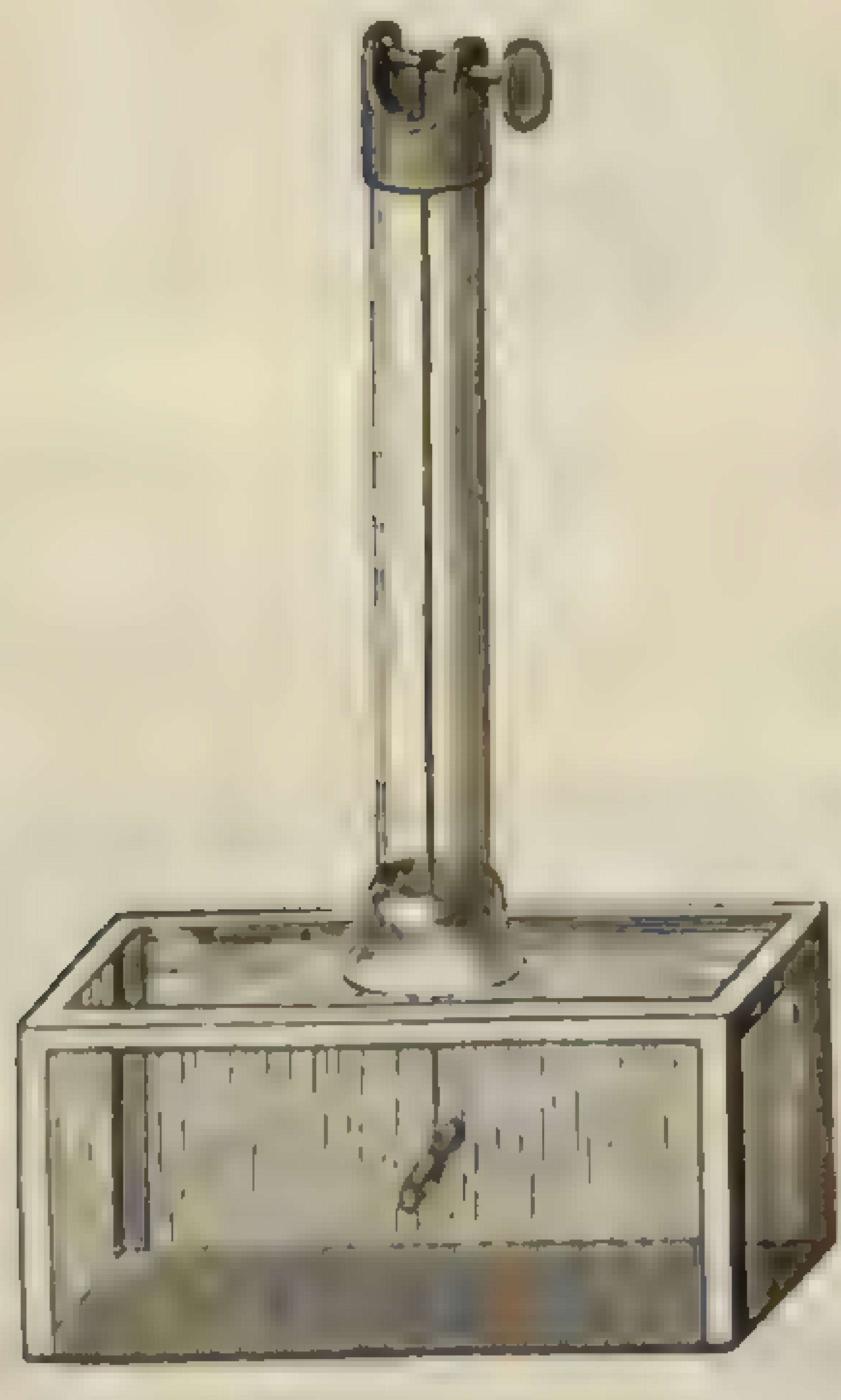
Zur Anstellung dieser Versuche eignet sich am besten ein Elektromagnet, welcher in der Art aufgestellt ist, wie Fig. 248 auf Seite 254 zeigt. Für die magnetischen Versuche ist es von Wichtigkeit, daß man die Magnetpole beliebig nähern könne. Man erreicht dies am bequemsten, wenn man auf jeden Pol ein Eisenstück von quadratischem Querschnitt aufsetzt, dessen Seite dem Durchmesser des Magnetpols gleich ist. Nahe an ihrem oberen Ende sind diese Eisenstücke horizontal durchbohrt und durch die Höhlung ist ein einerseits zugespitzter Eisencylinder gesteckt, den man nach Belieben vor- und rückwärts schieben und, wie man Figur 374 sieht, mittelst einer Schraube in jeder beliebigen Stellung festschrauben kann.

Fig. 374.



Um den zwischen beiden Polen hängenden Körper vor Luftzug zu schützen, wird auf das Tischlein *t*, Fig. 248, aus welchem die Magnetpole hervorragen, ein Glaskasten gesetzt. Ein solcher Glaskasten von möglichst einfacher Einrichtung (die Kanten sind durch Papierstreifen verklebt) ist Fig. 375 dargestellt. Die obere Glasplatte hat in der Mitte ein Loch, über welchem sich eine Glasröhre erhebt; an dem oberen Ende ist eine Fassung mit einem horizontalen drehbaren Stäbchen angebracht, an welchem der Seidenfaden hängt, der den zu untersuchenden Körper trägt. Durch Drehen dieses Stäbchens kann man den unten hängenden Körper beliebig heben und senken.

Fig. 375.



Die Glasröhre steckt unten in einer ringsum mit Tuch belegten Holzfassung, die auf die obere Glasplatte des Kästchens aufgeleimt ist; man kann also die ganze Glasröhre sehr sicher um ihre vertikale Axe umdrehen und dadurch das Stäbchen in die beliebige Lage bringen.

Es ist zweckmäßig, das Stäbchen in eine Schleife des Fadens zu befestigen und nicht in ein Schiffchen zu legen, weil die Magnetpole schon

auf die Substanz des Schiffchens wirken, wodurch die Resultate unsicher werden.

Hat man den zu prüfenden Körper gehörig aufgehängt, und den Glaskasten auf das Tischlein *t* gesetzt, während die Kette noch nicht geschlossen ist, so läßt man nun das Stäbchen herab, bis es zwischen den beiden Spitzen in der Mitte hängt; die Entfernung der beiden Spitzen muß etwas größer seyn als die Länge des Stäbchens. Wenn das Stäbchen in einer Lage zur Ruhe gekommen ist, welche ungefähr zwischen der axialen und der äquatorialen in der Mitte liegt, so wird es, je nachdem seine Substanz magnetisch oder diamagnetisch ist, entweder nach der axialen oder äquatorialen Lage hingetrieben, sobald man die Kette schließt; begreiflicher Weise kommt aber das Stäbchen nicht sogleich in seiner neuen Gleichgewichtslage zur Ruhe, sondern es schwingt um diese Gleichgewichtslage mit einer Geschwindigkeit, die von der Stärke abhängt, mit welcher die Magnetpole einwirken. Bei einiger Stärke des Elektromagneten sind diese Oscillationen sehr lebhaft und unterscheiden sich dadurch sehr wesentlich von den äußerst langsamen Schwingungen des Stäbchens, welche eine Folge der schwachen Torsion des Seidenfadens sind; sobald man die Kette öffnet, oscillirt das Stäbchen wieder sehr langsam um seine frühere, durch den Faden bedingte Gleichgewichtsstellung.

Die Abstoßung diamagnetischer Körper durch die Magnetpole läßt sich am auffallendsten folgendermaßen zeigen. Man hänge statt des Stäbchens eine kleine Kugel von ungefähr $^3/_4$ Linie Durchmesser an den Seidenfaden, deren Substanz sehr stark diamagnetisch ist, also etwa ein Kügelchen von Wismuth. Die Eisenstücke nähert man nun so weit, daß die Spitzen nur unbedeutend mehr von einander abstehen, als der Durchmesser des Kügelchens beträgt. So lange die Kette nicht geschlossen ist, kann man machen, daß das Kügelchen gerade in der Mitte zwischen den beiden Spitzen hängt; sobald man aber die Kette schließt, wird das Kügelchen seitwärts zwischen den beiden Spitzen herausgetrieben, so daß der Faden, an dem es hängt, merklich von seiner vertikalen Richtung abgelenkt ist. Beim Oeffnen der Kette fällt das Kügelchen wieder zurück.

Es ist dies ein Beweis einer sehr kräftigen Abstoßung, welche beide Polspitzen auf das Kügelchen ausüben.

Plücker beobachtete die auffallende Erscheinung, daß ein Kohlenstäbchen sich axial zwischen die Polspitzen eines Elektromagneten stellte, so lange nur ein schwacher Strom die Spiralen durchlief; sobald aber durch stärkere Ströme ein kräftiger Magnetismus in den Eisenkernen erzeugt wurde, nahm das Kohlenstäbchen die äquatoriale Stellung ein.

Durch Zusammenschmelzen von Stanniol, der wahrscheinlich wegen seines Eisengehaltes magnetisch war, mit Wismuth gelang es ihm, Stäbchen anzufertigen, die sich gleichfalls zwischen schwachen Magnetpolen axial, zwischen starken äquatorial stellten.

Es ist dies die Folge eines ganz schwachen Eisengehaltes. Plücker zeigte, daß überhaupt die magnetischen Substanzen, denen eine ganz geringe Menge

Eisen beigemischt ist, sich schwachen Magnetpolen gegenüber magnetisch verhalten, von stärkeren aber abgestoßen werden.

Diese auf den ersten Anblick sehr auffallende Erscheinung findet eine sehr einfache Erklärung durch die von mir nachgewiesene Thatsache, daß das Eisen nicht über eine bestimmte Gränze hinaus magnetisirt werden kann, und daß für geringe Eisenmassen schon schwache magnetisirende Kräfte hinreichen, das Maximum des Magnetismus zu erzeugen. Bedenken wir nun, welche geringe Massen magnetischer Substanzen in den Körpern vertheilt sind, mit welchen Plücker experimentirte, so dürfen wir wohl annehmen, daß dieselben schon bei geringerer Stromstärke nahe bis zu ihrem Maximum magnetisirt sind, daß also die Variationen der Stromstärke keinen bedeutenden Einfluß mehr auf sie ausüben können, während der Diamagnetismus, die ungleich größere Masse der nicht magnetischen Substanzen der Stromstärke, proportional wächst.

Sehr interessante Erscheinungen beobachtete Plücker, als er Flüssigkeiten in folgender Weise dem Einfluß der Pole eines Elektromagneten aussetzte. Auf jeden der Pole wurde ein eiserner Halbanker von der Fig. 376 dargestellten Form gelegt, und zwar wurden die abgerundeten Seiten dieser Halbanker einander zugekehrt. Auf den Zwischenraum zwischen den beiden Halbankern wurde nun ein Uhrglas gesetzt, welches die Flüssigkeit enthielt.

Fig. 376.



Eisenfeilspäne häufen sich an den Kanten der Magnetstäbe am stärksten an, und es ließ sich erwarten, daß magnetische Flüssigkeiten, in der erwähnten Weise über die Pole des Elektromagneten gebracht, sich über den gekrümmten Kanten der Halbanker anhäufen würden. Der Versuch bestätigte dies vollkommen. In das Uhrglas wurde eine concentrirte Auflösung von Eisenchlorid gebracht, welche einen Kreis von 25^{mm} Durchmesser bildete. Als die Halbanker bis auf 2,5^{mm} genähert waren (in den Figuren 377 und 378 bezeichnen die mit größeren Radien gezeichneten Kreisbo-

Fig. 377.

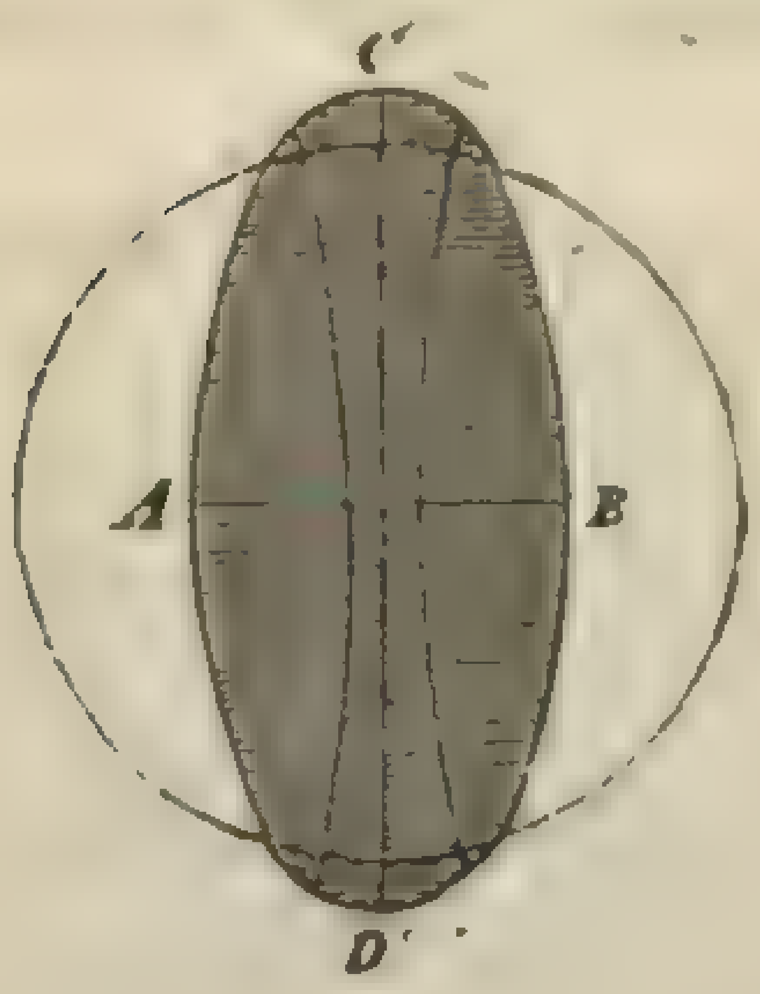
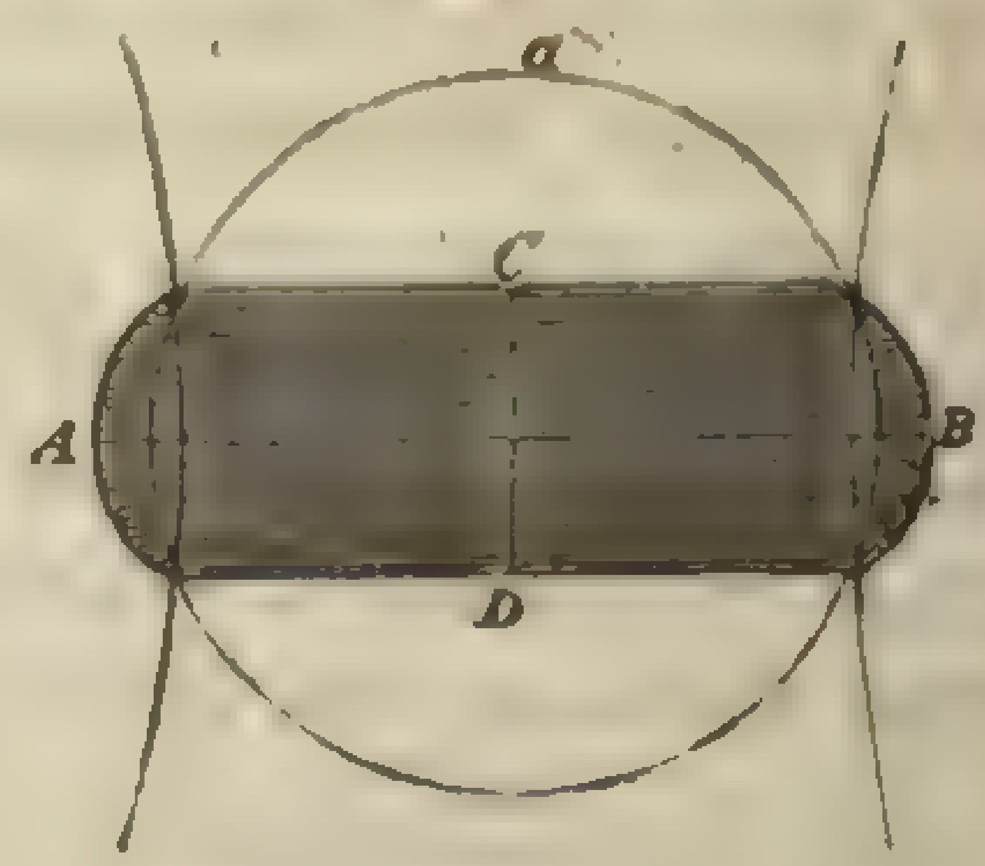


Fig. 378.



gen die oberen gekrümmten Kanten der Halbanker), nahm die ursprünglich kreisförmige Masse der Lösung nach Schließung der Kette die elliptische Gestalt *ABCD*, Fig. 377, an; die Axen dieser Ellipse betrugen 30,5 und 13^{mm}

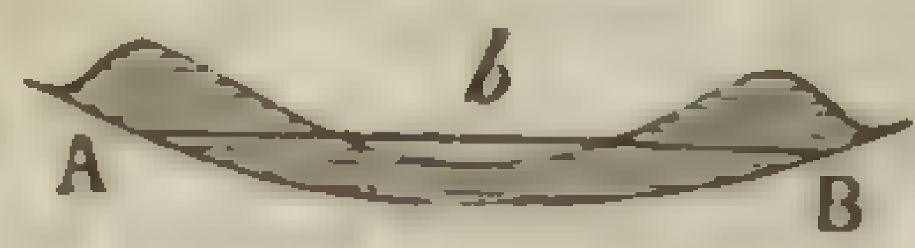
Gleichzeitig ging auch die horizontale Oberfläche verloren; sie bildet in der äquatorialen Ebene einen Bergrücken, dessen axialen Querschnitt man in Fig. 379 sieht.

Als die Halbanker bis auf 23 Millimeter entfernt wurden, nahm die Flüssigkeit die Gestalt Fig. 378 an; Fig. 380 zeigt den entsprechenden axialen Durchschnitt.

Fig. 379.



Fig. 380.



Eine Lösung von Eisenchlorür zeigte sich schwächer magnetisch, noch weniger eine solche von Eisenvitriol. Eine Lösung von salpetersaurem Nickeloxyd ist stärker magnetisch als die Lösung des Eisenvitriols.

Plücker unterwarf nun auch diamagnetische Flüssigkeiten demselben Verfahren. Als die Anker bis auf 2,5 Millimeter genähert waren, dehnte sich die Flüssigkeit nach der axialen Richtung aus, während sie sich nach der äquatorialen zusammenzog. Oberhalb der Mitte zwischen den beiden Halbankern bildete sich statt des früheren Bergrückens ein in der Aequatorialebene sich hinziehendes Thal. — Bei diamagnetischen Flüssigkeiten zeigt sich ein Zurückweichen von den Kanten der Halbanker, doch sind die Wirkungen schwächer, als bei magnetischen Flüssigkeiten.

Stärkere Wirkungen als bei Anwendung eines Uhrglases erhält man, wenn man kleinere Quantitäten von Flüssigkeit auf ein Glimmerblatt bringt und dies auf die etwa 3^{mm} von einander entfernten Halbanker legt.

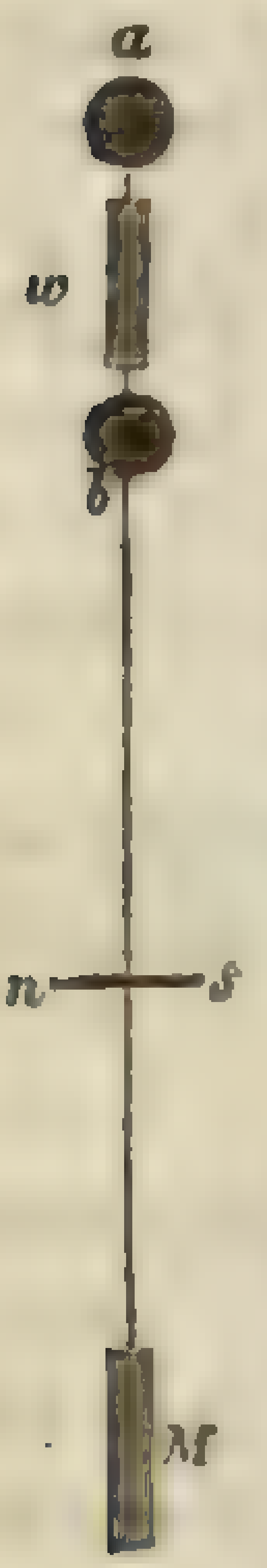
Theorie des Diamagnetismus. Das Verhalten der diamagnetischen 129
Körper gegen Magnetpole ließe sich wohl, wie Faraday bemerkt, durch die Annahme erklären, daß in einem solchen Körper, also z. B. in einem Wismuthstäbchen, durch die Nähe eines Magnetpols Ströme erzeugt werden, welche den Ampère'schen Strömen des Magneten entgegengesetzt sind, so daß gleichnamige Pole einander gegenüber zu stehen kämen, während in magnetischen Metallen mit dem Magneten gleichgerichtete Ströme gebildet werden, so daß sich ungleichnamige Pole einander gegenüberstehen. Dies würde den Strömen in diamagnetischen Körpern gleiche Richtung geben mit denen, welche zu Anfang des inducirenden Stromes in benachbarten Leitern inducirt werden, und in den magnetischen Körpern gleiche mit denen, welche beim Aufhören desselben inducirenden Stromes entstehen. Faraday hat diese Ansicht aber weder ausgebildet noch festgehalten, sondern gegen die von einer indifferenten Repulsion vertauscht.

Eine Wismuthkugel wird sowohl vom Nordpol als auch vom Südpol eines Magneten abgestoßen. Wenn aber hier eine indifferente Abstoßung stattfände, so müßte ein Nordpol und ein Südpol, von derselben Seite her einer

Wismuthkugel genähert, sich in ihren abstoßenden Wirkungen unterstützen; Reich hat aber gezeigt, daß die Wirkungen der beiden Pole sich in diesem Falle neutralisiren, daß also die frühere Ansicht Faraday's die richtige ist.

Wenn in einem diamagnetischen Körper durch die Nähe eines Magnetpols wirklich eine Polarität hervorgerufen wird, welche mit der des wirksamen Magnetpols gleichnamig ist, so müssen, schloß Weber, die diamagnetischen Pole unter Umständen auch anziehend auf einen Magnetpol wirken können. Zu diesem Zweck darf man aber nicht diejenige Kraft beobachten, welche das diamagnetische Wismuth auf denjenigen Magnetpol ausübt, von welchem es selbst diamagnetisirt worden ist; sondern man muß solche Wirkungen beobachten, welche jenes Wismuth auf andere Magnetpole in der Ferne ausübt, welche keinen Einfluß auf seinen diamagnetischen Zustand haben.

Fig. 381.



Weber hat dieß auf folgende Weise verwirklicht. Es sei *n s*, Fig. 381, eine kleine Magnetnadel, welche an einem Coconfaden aufgehängt ist; ein Wismuthstäbchen *w* nun, welches sich in einer Ebene befindet, welche die Magnetnadel rechtwinklig halbirt, wird für sich keinerlei Ablenkung auf die Magnetnadel ausüben können. Wird nun ein Elektromagnet so aufgestellt, daß *w* gerade in die Mitte zwischen die beiden Pole *a* und *b* desselben zu liegen kommt, und dann das Wismuthstäbchen entfernt, so wird der Elektromagnet die Magnetnadel allerdings kräftig ablenken, man kann aber diese Einwirkung dadurch wieder neutralisiren, daß man einen Magnetstab *M* in entsprechender Lage und Entfernung auf der anderen Seite der Magnetnadel anbringt.

Bringt man nun nach diesen Vorbereitungen dasselbe Stück Wismuth, welches vorher auf die Nadel gar nicht wirkte, an die nämliche Stelle wie früher, d. h. zwischen die beiden Pole des Elektromagneten, so zeigt sich nun eine sehr wahrnehmbare und meßbare Wirkung, nämlich eine Ablenkung der Nadel in Folge davon, daß der eine Pol abgestoßen, der andere angezogen wird.

Kehrt man die Pole der Magnete (*a b* und *M*), deren Wirkungen auf die Nadel sich compensiren, um und wiederholt man dann den Versuch, so findet man, daß das nämliche Stück Wismuth, an die nämliche Stelle und in die nämliche Lage gebracht, jetzt gerade die entgegengesetzte Ablenkung hervorbringt.

Vertauscht man das Stück Wismuth mit Eisen, so findet man, daß die vom Eisen hervorgebrachte Ablenkung stets die entgegengesetzte von der ist, welche das Wismuth unter denselben Verhältnissen bewirkt.

Nähert man einem Magnetpol einen Leiter, so werden in demselben nach den bekannten Gesetzen der Induction Ströme gebildet, welche den Ampère'schen Strömen des Magneten entgegengesetzt sind; wird z. B. ein Kupferstäbchen dem Nordpol eines Magneten genähert, so wird das dem Magneten zu-

gekehrte Ende des Kupferstücks durch diese inducirten Ströme, wenn auch nur vorübergehend, selbst zu einem Nordpol.

Durch Annäherung gegen einen Magnetpol wird also ein Wismuthstab durch Induction in einen polaren Zustand versetzt, welcher demjenigen ganz gleich ist, welchen wir zur Erklärung der diamagnetischen Erscheinungen annehmen müssen. Bekanntlich sind aber die Ströme, welche in der Masse eines Leiters inducirt werden, wenn er einem Magnetpole genähert wird, nur vorübergehend, sie verschwinden alsbald, wenn der Leiter ruhig in seiner Stellung gegen den Magneten verbleibt; um also die Erscheinungen des Diamagnetismus zu erklären, kommt es darauf an, zu zeigen, wie es möglich ist, daß dieser bei der Annäherung gegen den Magnetpol hervorgerufene Zustand ein bleibender seyn kann, so lange sich der Leiter dem Magnetpol gegenüber befindet.

Wären in dem Wismuth magnetische Fluida vorhanden, wie im Eisen, oder wäre, was auf dasselbe hinauskommt, jedes Wismuthmolekül schon von einem continuirlichen Strome umkreist, wie wir uns die Ampère'schen Ströme um die Eisenmoleküle denken, so könnte die Einwirkung eines Magnetpols durchaus keine andere Wirkung hervorbringen, als wie beim Eisen auch, d. h. er müßte die Fluida in der bekannten Weise scheiden oder er müßte die schon vorhandenen Molekularströme denen des einwirkenden Magnetpols parallel stellen, kurz, auf schon vorhandene, durch den Magneten erst zu richtende Molekularströme lassen sich also die Erscheinungen des Diamagnetismus nicht zurückführen.

Die Ströme, welche dem diamagnetischen Körper seine Polarität ertheilen, müssen also erst bei der Annäherung gegen einen Magnetpol, oder dadurch, daß der Magnetismus in demselben entsteht, gebildet werden; sie dürfen aber nicht vorübergehend seyn, wie die gewöhnlichen in der Masse von Leitern inducirten Ströme, sondern sie müssen beharrlich seyn, sie müssen so lange andauern, als der diamagnetische Körper dem Magnetpole gegenüber bleibt.

Dies ist nun durch die Annahme zu erklären möglich, daß in dem diamagnetischen Körper Molekularströme inducirt werden, d. h. Ströme, welche die einzelnen Moleküle des diamagnetischen Körpers umkreisen, sich aber nicht in der Masse derselben, von einem Molekül zum anderen fortschreitend, bewegen.

Der Unterschied zwischen Strömen, welche durch Leiter in größeren Kreisen sich bewegen, und den Molekularströmen besteht nur darin, daß die strömende Elektricität der ersteren beim Vorübergehen an den Molekülen des Leiters einen mehr oder minder bedeutenden (Leitungs-) Widerstand zu überwinden hat, wodurch ihre lebendige Kraft so schnell entzogen wird, daß sie in einer unmeßbar kleinen Zeit zur Ruhe gelangen muß, wenn ihr der erlittene Verlust nicht durch fortdauernde elektromagnetische Kräfte immer wieder ersetzt wird. Das Gegentheil gilt von den Molekularströmen, welche nicht durch den Leiter von Molekül zu Molekül fortgehen, sondern sich um ein einziges Molekül herumbewegen, für die also jener Grund der Entziehung der lebendigen Kraft weg-

fällt. Diese Ströme beharren also ohne elektromotorische Kraft in gleicher Intensität.

Wirkt nun eine inducirende Kraft auf einen Körper, so können dadurch zweierlei Ströme gebildet werden: die gewöhnlichen Inductionsströme, welche sich durch die Masse des Körpers bewegen und mit der inducirenden Kraft verschwinden, und inducirte Molekularströme, welche auf ihrem Wege um die Moleküle herum keinen Widerstand finden und ungeschwächt fortdauern müssen, bis in Folge einer neuen entgegengesetzten Induction neue entgegengesetzte Molekularströme hinzukommen, welche die älteren aufheben.

Nach der Weber'schen Theorie des Diamagnetismus sind also die hierher gehörigen Erscheinungen durch Molekularströme zu erklären, welche in dem Diamagneticum durch Annäherung gegen einen Magnetpol oder dadurch inducirt werden, daß in einem benachbarten Pole der Magnetismus entsteht, und welche so lange fortdauern, bis das Verschwinden des Magnetismus in dem Magnetpole oder die Entfernung des Diamagneticums von demselben eine entgegengesetzte Induction bewirkt und dadurch die Wirkung der früheren aufhebt.

Die in größeren Kreisen sich bewegenden Inductionsströme können sich in Isolatoren nicht bilden; inducirte Molekularströme sind aber in ihnen wohl möglich, da ja auch Nichtleiter, z. B. schweres Glas, von den Magnetpolen abgestoßen werden und sich äquatorial stellen.

130 **Diamagnetismus der Flamme und der Gase.** Die früheren Versuche Faraday's über das Verhalten der Gase gegen Magnetpole geben keine entscheidenden Resultate. — Bancalari fand zuerst, daß eine Flamme, zwischen die Pole eines Elektromagneten gestellt, im Augenblick der Herstellung des Stromes eine Abstoßung erleidet und bei Unterbrechung desselben wieder in ihre ursprüngliche Lage zurückkehrt.

Zantedeschi, Faraday und Plücker haben weitere Versuche über den Diamagnetismus der Flamme angestellt. Plücker brachte zwischen die 3,5^{mm} von einander entfernten Polspitzen seines Elektromagneten eine ruhig brennende, keinen Ruß absetzende Talgkerze, und hielt dieselbe so zwischen die Polspitzen, daß sich diese in $^7/_8$ der ursprünglichen Höhe der Flammen befanden. Fig. 382 *a*

Fig. 382.

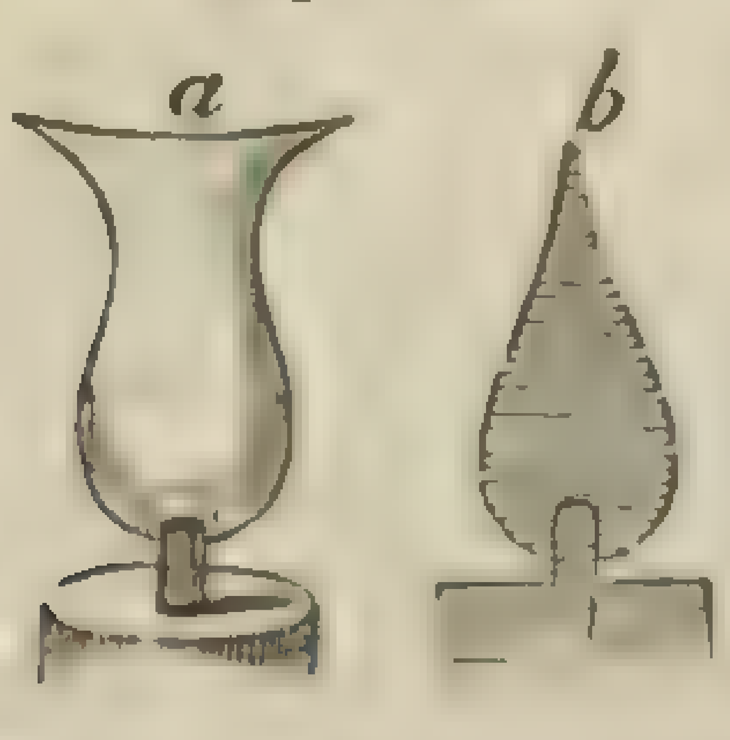
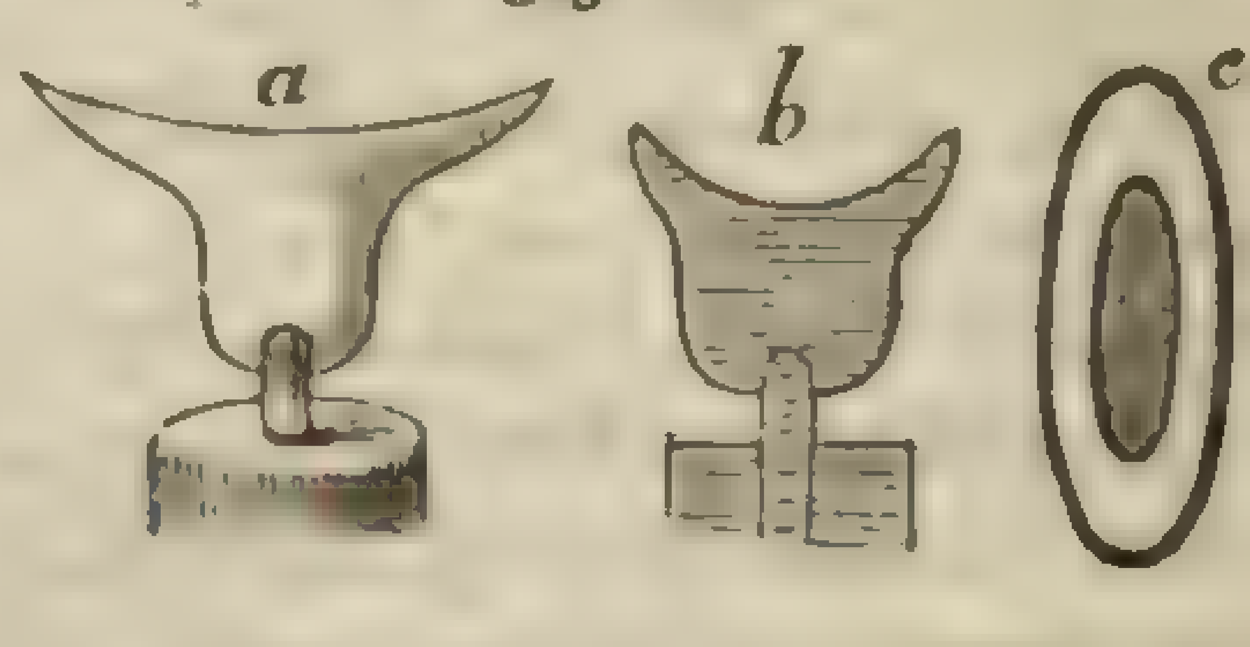


Fig. 383.

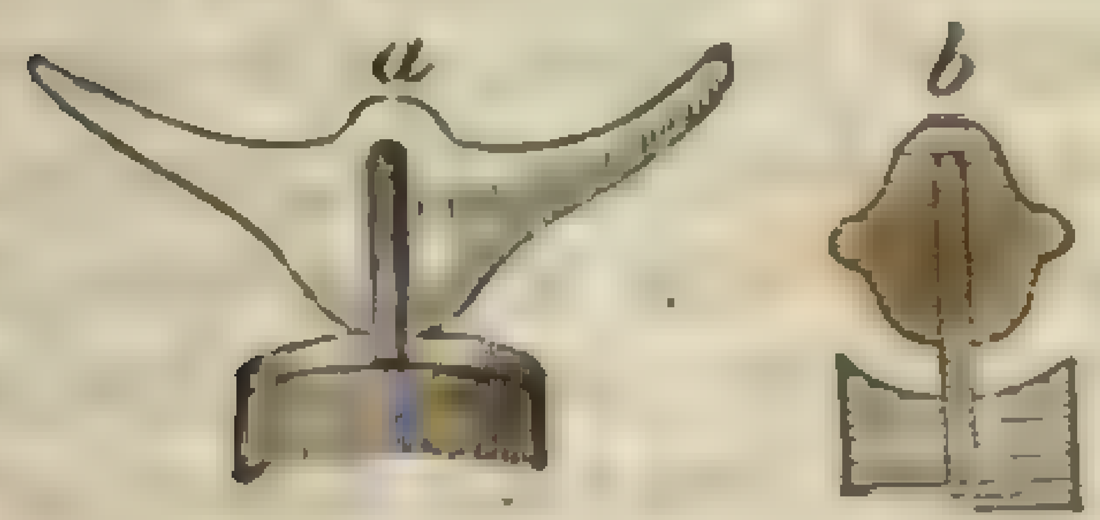


zeigt für diesen Fall die äquatoriale Ansicht, Fig. 383 *b* den axialen Durchschnitt der Flamme.

Als die Flamme gehoben wurde, so daß sich die Polspitzen in der Hälfte ihrer ursprünglichen Höhe befanden, nahm die Flamme in äquatorialer Richtung die Gestalt Fig. 383 *a* an; Fig. 383 *b* stellt den entsprechenden axialen Durchschnitt dar. Fig. 383 *c* ist eine Ansicht der Flamme von oben.

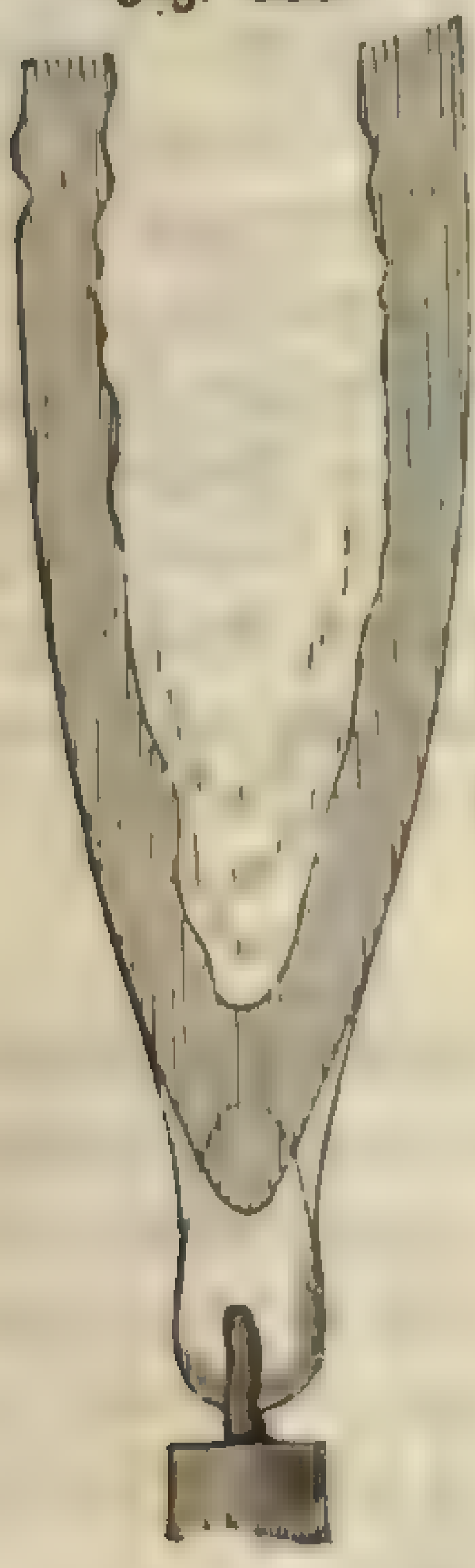
Endlich wurde die Talgkerze so weit gehoben, daß sich die beiden Polspitzen mit dem oberen Ende des Dochtes in gleicher Höhe befanden und die Flamme, durch die eisernen Polspitzen abgekühlt, nicht mehr mit vollem Lichte brannte. Als die Kette geschlossen wurde, erhielt sie nicht allein ihr früheres Licht wieder, sondern sie brannte noch stärker, indem sie heruntergedrückt wurde und in der Aequatorialansicht die Form Fig. 384 *a* annahm. Ein senkrechter axialer Durchschnitt ist in Fig. 384 *b* dargestellt.

Fig. 384.



Bei diesen Versuchen mit der Talgkerze brannte dieselbe, ohne Ruß abzusetzen. Ein stark rußendes Talglicht bietet ganz andere Erscheinungen dar. Wenn sich insbesondere die beiden Polspitzen in $3/4$ der Höhe der ursprünglichen Flamme befanden, so ergab sich beim Schließen der Kette die in Fig. 385 dargestellte Aequatorialansicht. Der aufsteigende graue Qualm breitete sich in der Aequatorialebene bedeutend aus. Er wurde auswärts scharf von einer Parabel begränzt, deren Scheitel genau in die Mitte zwischen die beiden Polspitzen fällt.

Fig. 385.



Aehnliches zeigt eine rußende Terpentinölflamme, der von einem brennenden Stück Zunder aufsteigende Rauch ꝛc.

Alle die verschiedenen Formen, welche die Flammen unter dem Einfluß von Magnetpolen annehmen, erklären sich aus der Annahme, daß die Masse der Flammen durch die Magnetpole abgestoßen wird, und daß diese Abstoßung hauptsächlich von der Axenlinie aus nach den Seiten erfolgt; es wird also durch diese Versuche bewiesen, daß die verschiedenen untersuchten Flammen sich diamagnetisch verhalten und zwar, daß sie in höherem Grade diamagnetisch sind als die umgebende Luft.

Um das Verhalten verschiedener Gasarten bei gleicher Temperatur (der Temperatur der umgebenden Luft) zu prüfen, schlug Faraday folgendes Verfahren ein. Das zu prüfende Gas befand sich in einer Woulf'schen Flasche. In die eine Oeffnung derselben wurde eine fast bis zum Boden der Flasche hinabragende Röhre befestigt und durch diese wurde das Wasser eingegossen, welches das Gas austreiben sollte. Der Zufluß des Wassers war so regulirt, daß in der Minute 12 Cubikzoll Wasser hier ein-, also ebenso viel Gas durch die andere

Oeffnung ausströmte. Das Gas wurde durch eine Glasröhre zu der Stelle geleitet, an welcher es ausströmen sollte. Die Ausströmungsöffnung hatte ungefähr 1/8 Zoll Durchmesser; sie befand sich unter den Polspitzen, wenn man mit einem leichteren, über den Polspitzen, wenn man mit einem schwereren Gas experimentirte, so daß ein in der Mitte zwischen den Polspitzen aufsteigender oder niedersinkender Gasstrom hervorgebracht wurde.

In der Ausströmungsröhre befand sich ein Stück Fließpapier, welches mit concentrirter Salzsäure befeuchtet war, so daß das ausströmende Gas immer etwas Salzsäure mit sich führte. Um nun den Weg zu zeigen, welchen die aufsteigende oder niedersinkende Gassäule nimmt, verfuhr Faraday in folgender Weise: Ueber oder unter dem Mittelpunkt der Linie, welche die beiden Polspitzen verbindet, war eine an beiden Enden offene Glasröhre, so lang und so dick wie ein Finger, angebracht; eine gleiche Röhre in äquatorialer Richtung auf jeder Seite derselben, so also, daß die Ebene, welche die Axen dieser drei vertikalen Röhren verbindet, äquatorial steht. Jede dieser Röhren enthielt ein Stück Fließpapier, welches in Ammoniakflüssigkeit getaucht war, so daß Nebel entstehen mußten, wenn das salzsäurehaltige Gas durch eine solche Röhre hindurchging.

Strömte das Gas frei auf oder ab, so ging es durch die mittlere Röhre; erschien es aber nach Schließung der Kette in den Seitenröhren, so war das ein Zeichen, daß es diamagnetisch gegen Luft ist.

In dieser Weise geprüft, zeigten sich diamagnetisch: Stickstoff (schwach), Wasserstoff, Kohlensäure, Kohlenoxydgas, Stickstoffoxydul, ölbildendes Gas, Steinkohlengas, Chlorwasserstoffsäure, Jodwasserstoffsäure, Ammoniak, Chlor, Jod, Brom, Cyan. — Sauerstoff zeigte sich weniger diamagnetisch als Luft. — Stickstoffoxyd und salpetrigsaures Gas gaben keine entscheidenden Resultate.

Faraday änderte nun den Versuch dahin ab, daß er den Versuchsraum gegen die äußere Luft absperrte und ihn mit Kohlensäure, mit Steinkohlengas oder mit Wasserstoffgas füllte, so daß die zu untersuchenden Gase nicht in Luft, sondern in Kohlensäure, Steinkohlengas oder Wasserstoffgas ausströmten.

Auf diese Weise untersucht, verhielt sich das Sauerstoffgas magnetisch gegen alle anderen Gase.

131 **Intensitätsbestimmung magnetischer und diamagnetischer Kräfte.** Die Größe der Anziehung, welche magnetische Flüssigkeiten durch Magnetpole erfahren, hat Plücker in folgender Weise gemessen: Zur Aufnahme der Flüssigkeit dient ein Uhrglas mit abgeschliffenem Rande; es wird bis über diesen Rand mit der Flüssigkeit gefüllt und dann dieselbe mit einem als Deckel dienenden matten Glase abgestrichen, so daß man sicher ist, daß die eingeschlossene Flüssigkeit bei gleicher Form stets dasselbe Volumen einnimmt.

Um die Stärke der Anziehung zu bestimmen, wird das Uhrglas mit seinem Inhalte und seinem Deckel in einen dünnen Ring von Messing gebracht, der an drei etwa 200 Millimeter langen Seidenfäden an einer Wage hängt, welche hinreichend fein ist, um 1 Milligramm anzugeben, und an der, außer

der Axe des Wagbalkens, kein Eisen sich befindet. Um die Wirkung bei schwachen Kräften zu verstärken, wird das Glas nicht mit einem einzelnen Pole in Berührung gebracht, sondern es werden die beiden Halbanker, welche auch zu den schon oben beschriebenen Versuchen dienten, so auf die Pole gelegt, daß die abgerundeten Enden derselben noch 6 Millimeter von einander abstanden: die Wage wurde genau so adjustirt, daß das Uhrglas mit dem Ringe, wenn die Wage tarirt ist, gleichzeitig jeden der beiden Halbanker eben berührt. Nach Erregung des Magnetismus wird das Uhrglas mit seinem Inhalt angezogen, und um es von den Halbankern abzureißen, wird auf die Wagschale der anderen Seite feines Bleischrot und dann feiner Sand aufgelegt. Das Gewicht des zugelegten Schrotes oder Sandes ist das Maaß für die jedesmalige magnetische Kraft.

Das leere Uhrglas selbst nebst dem Messingringe zeigte sich magnetisch; als der Elektromagnet durch 6 Platinelemente erregt wurde, ward es noch mit einer Kraft von 0,4 Gramm angezogen.

Als das Uhrglas mit Wasser gefüllt wurde, betrug die Anziehung noch 0,28 Gramm. Die diamagnetische Abstoßung des im Uhrglase eingeschlossenen Wassers beträgt also 0,12 Gramm.

Nun bereitete Plücker 4 Lösungen von Eisenchlorür, deren Salzgehalt sich verhielt wie 8 : 4 : 2 : 1 und bestimmte die zum Abziehen nöthigen Gewichte. Es ergab sich aus diesen Versuchen, daß die Anziehung der Eisenchlorürlösung dem Gehalte an Eisenchlorür proportional ist.

Ganz ähnliche Resultate wurden mit fein vertheiltem Eisen erhalten, welches in frischem Schweineschmalz gleichmäßig vertheilt war.

Aehnliche Versuche wurden auch mit anderen eisen- und nickelhaltigen Substanzen gemacht. Die folgende Tabelle enthält einen Theil der so erhaltenen Resultate.

	A	*B*	*C*	*D*
Salpetersaures Eisenoxyd . . .	14,55 gr.	1,212 gr.	2,502 gr.	2,064 gr.
Salzsaures Eisenoxydul	16,53	2,825	7,095	2,501
Schmalzmischung 50 : 1 . . .	8,225	0,161	82,370	50,740
Eisenoxyd, gepulvert	14,82	10,377	21,690	2,090
Eisenglanz	33,72	23,604	91,755	3,887
Eisenoxydhydrat	16,50	8,750	13,238	1,513

Die Columne *A* enthält das Gewicht der untersuchten Substanz, unter *B* findet sich das Gewicht des in der untersuchten Masse enthaltenen Eisens; die mit *C* überschriebene Columne enthält die Größe der beobachteten magnetischen Anziehung. Dividirt man mit den Zahlen unter *B* in die un-

ter C stehenden, so erhält man die letzte Vertikalreihe, welche also angiebt, wie groß die Anziehung gewesen seyn würde, wenn bei gleichmäßiger Vertheilung im Inneren des Uhrglases der Eisengehalt der Substanz gerade 1 Gramm betragen hätte.

Wir sehen daraus, daß bei gleichem Eisengehalt die magnetische Anziehung verschiedener Eisenverbindungen sehr verschieden ist, daß die magnetischen Eigenschaften des Eisens in den meisten seiner Verbindungen außerordentlich geschwächt erscheinen. Bezeichnen wir die magnetische Anziehung des metallischen Eisens mit 100,000, so ist die Anziehung, welche unter gleichen Umständen die gleiche Menge Eisen in verschiedenen Verbindungen erfährt, die folgende:

Eisen metallisch	100,000
» im Oxyd	714
» im Eisenglanz	761
» im Eisenoxydhydrat	296
» in der Lösung von salpeters. Eisenoxyd .	410
» » » » » salzs. Eisenoxydul .	490

Man sieht aus dieser Zusammenstellung, wie sehr die magnetischen Eigenschaften des Eisens abnehmen, wenn dieses Metall mit anderen Körpern chemische Verbindungen eingeht. Eine einzige Eisenverbindung zeigt einen stärkeren Magnetismus; bezeichnen wir den Magnetismus des Eisens mit 100,000, so ist der eines gleichen Gewichtes Magneteisenstein 40,227. Es ist dies eine Verbindung von Eisenoxyd mit Eisenoxydul ($FeO + Fe_2O_3$). — Der starke Magnetismus dieser Verbindung rührt höchst wahrscheinlich daher, daß das Eisenoxydul in sehr hohem Grade magnetisch ist. Das Eisenoxydul selbst konnte Plücker bisher noch nicht untersuchen.

Die Größe der magnetischen Abstoßung wurde in der Weise ermittelt, wie es oben für Wasser angegeben wurde. Bezeichnen wir die Stärke des Diamagnetismus des Wassers mit 100, so ist bei gleichem Volum die Stärke der diamagnetischen Abstoßung für

Alkohol (0,813)	93
Aether	93
Schwefelkohlenstoff	129
Schwefelsäure	64.

132 **Einfluß der Krystallisation auf die diamagnetischen Erscheinungen.** Plücker machte zuerst die Beobachtung, daß die Krystallisationsverhältnisse einen wesentlichen Einfluß auf die diamagnetischen Erscheinungen ausüben. Eine Turmalinplatte z. B., welche einer Turmalinzange entnommen, also parallel mit der Axe geschliffen war, wurde so aufgehängt, daß die Richtung der Axe mit der Richtung des Fadens zusammenfiel (es ist dies in

Fig. 386 durch die Schraffirung angedeutet; die Schraffirungslinien sind den optischen Axen der Platte parallel). Die Platte stellt sich zwischen den Polen des Elektromagneten axial; der Turmalin ist also eine magnetische Substanz (was wohl von seinem Eisengehalte herrührt). Nun wurde dieselbe Platte so aufgehängt, daß die Richtung der optischen Axe rechtwinklig zu der des Fadens war, wie dies Fig. 387 angedeutet ist; jetzt stellte sich die Platte äquatorial.

Fig. 386.



Fig. 387.



Faraday machte Versuche mit gut krystallisirten Wismuthstücken, aus welchen sich ergab, daß die Hauptspaltungsrichtung stets ein Bestreben zeigt, sich äquatorial zwischen die Magnetpole zu stellen. Dieses Bestreben macht sich in der Weise geltend, daß eine Säule von krystallisirtem Wismuth, deren Axe auf der Hauptspaltungsfläche rechtwinklig steht, sich selbst bei entschieden vorherrschenden Längendimensionen axial stellt.

Faraday nennt die Richtung des krystallisirten Wismuths, welche sich axial zu stellen strebt, die Magnetkrystallaxe.

Plücker ließ geschmolzenes Wismuth langsam zwischen den Magnetpolen krystallisiren. Nach dem Erstarren zeigte sich, daß die Ebenen der vollkommenen Spaltbarkeit vorherrschend nach der äquatorialen Richtung lagen.

Nachdem Plücker das eigenthümliche Verhalten der Krystalle zwischen den Magnetpolen entdeckt hatte, suchte er es durch eine Einwirkung der Magnetpole auf die optischen Axen zu erklären. Neuerdings hat er seine Ansicht über diesen Gegenstand in folgender Weise modificirt: »Unter der inducirenden Wirkung eines Magnetpols wird jedes kleinste Theilchen eines Krystalls polar magnetisch oder polar diamagnetisch. Aber die Polarität tritt auf, nicht wie bei der gewöhnlichen Induction, nach einer veränderlichen Richtung, die bloß nach der Lage der Pole bestimmt wird, sondern je nach der Krystallform nach einer oder mehr als einer festen Richtung. Solche Richtungen, die in dem Krystalle durch die Form derselben gegeben sind, habe ich die magnetischen Axen des Krystalls genannt.«

Krystalle des regulären Systems haben keine solche magnetische Axe.

Die optisch einaxigen Krystalle haben eine magnetische Axe, welche mit der krystallographischen Hauptaxe (also auch mit der optischen) zusammenfällt. Stellt sich die magnetische Axe zwischen den Magnetpolen axial, so nennt Plücker den Krystall magnetisch positiv; er nennt ihn magnetisch negativ, wenn sich die magnetische Axe zwischen den Magnetpolen äquatorial stellt.

Knoblauch ist dagegen der Ansicht, daß überhaupt in diamagnetischen, wie in magnetischen Körpern, deren Theilchen nicht nach allen Seiten hin gleich weit von einander abstehen, die (diamagnetische oder magnetische) Wirkung, welche sich an ihnen zwischen den Magnetpolen kund giebt, immer in

der Richtung am stärksten ist, in welcher die materiellen Theilchen am nächsten bei einander liegen.

Diese Ansicht wird durch folgenden Versuch bestätigt: Wird aus dem feinen Pulver eines rein diamagnetischen Körpers, z. B. aus Mehl, mit Hülfe von etwas Gummiwasser ein vierkantiger Stab gebildet, so stellt sich dieser zwischen den Magnetpolen natürlich so, daß die Längenaxe äquatorial steht. Drückt man ihn in der Richtung seiner größeren Ausdehnung so weit zusammen, daß das Parallelepiped in einen Würfel übergeht, so stellt sich dieselbe Richtung, welche vorher äquatorial war, wieder nach derselben Richtung. Dies ist selbst dann noch der Fall, wenn die Zusammendrückung in demselben Sinne wie zuvor so weit fortgesetzt worden, daß aus dem Würfel eine dünne Platte entstanden ist, so daß also die Ebene der Platte axial steht.

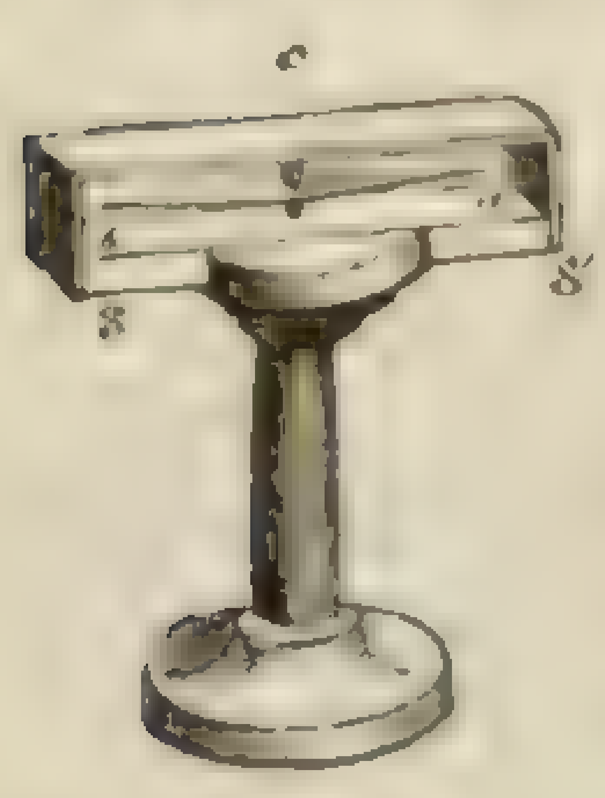
Achtes Kapitel.

Thermo-elektrische Ströme.

133 **Thermo-elektrische Elemente.** Wenn zwei Metallstäbe so zusammengelöthet sind, daß sie eine geschlossene Kette von beliebiger Form bilden, so entsteht ein mehr oder minder starker Strom, so oft die beiden Löthstellen verschiedene Temperatur haben, und der Strom dauert so lange fort, als der Temperaturunterschied unterhalten wird.

Es läßt sich dies für einen speciellen Fall mit dem Apparate Fig. 388 nachweisen. *ss'* ist ein Stäbchen von Wismuth, *scs'* ein Streifen von Kupfer, welcher an die Enden des Wismuthstäbchens angelöthet ist; *ab* ist eine auf einer Spitze frei spielende Magnetnadel. Wenn die beiden Löthstellen noch die Temperatur der umgebenden Luft haben, wird der Apparat so gestellt, daß die Ebene des Vierecks *scs'* in die Ebene des magnetischen Meridians fällt, daß also die Nadel mit der Axe und den Längenkanten des Wismuthstäbchens parallel steht; sobald nun eine der Löthstellen, etwa *s*, erwärmt wird, erleidet die Nadel eine mehr oder weniger bedeutende Ablenkung; erkaltet man aber dieselbe Löthstelle *s* unter die Temperatur der umgebenden Luft, so beobachtet man eine Ablenkung nach entgegengesetzter Richtung.

Fig. 388.



Diese Ablenkungen der Nadel bald nach der einen, bald nach der anderen Seite zeigen offenbar einen elektrischen Strom an, welcher den Apparat in ei-

ner bestimmten Richtung durchkreist, wenn die Löthstelle s wärmer ist als s'; in der entgegengesetzten aber, wenn die Löthstelle s kälter ist als die Löthstelle s'.

Es ist nicht gerade nöthig, daß man einen besonderen Apparat der Art hat, wie der Fig. 388 abgebildete; um den thermo-elektrischen Fundamentalversuch zu machen, kann man dazu jede leicht bewegliche Compaßnadel, etwa die Fig. 389 abgebildete, anwenden. Als thermo-elektrisches Element wendet man gewöhnlich ein längliches Rechteck, Fig. 390, an, welches aus Wismuth und Antimon zusammengesetzt ist; in der Figur bezeichnet die hellschattirte Hälfte Wismuth, die andere Antimon. Diese beiden Metalle sind bei s und s'

Fig. 389.

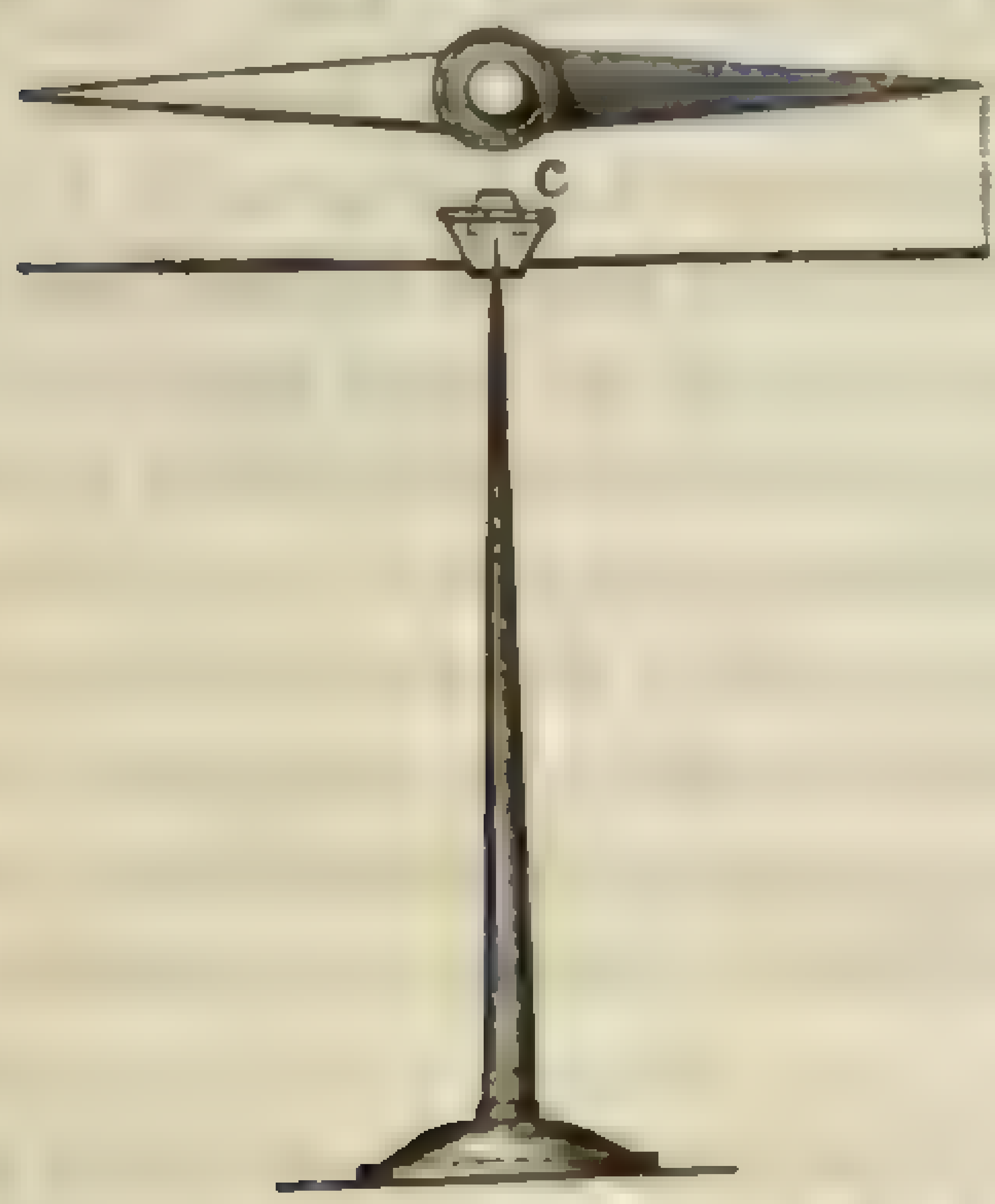
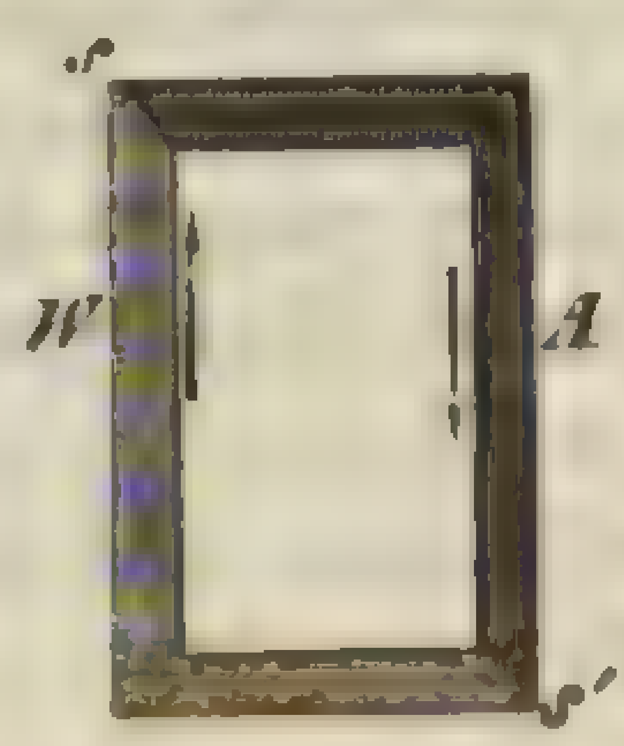


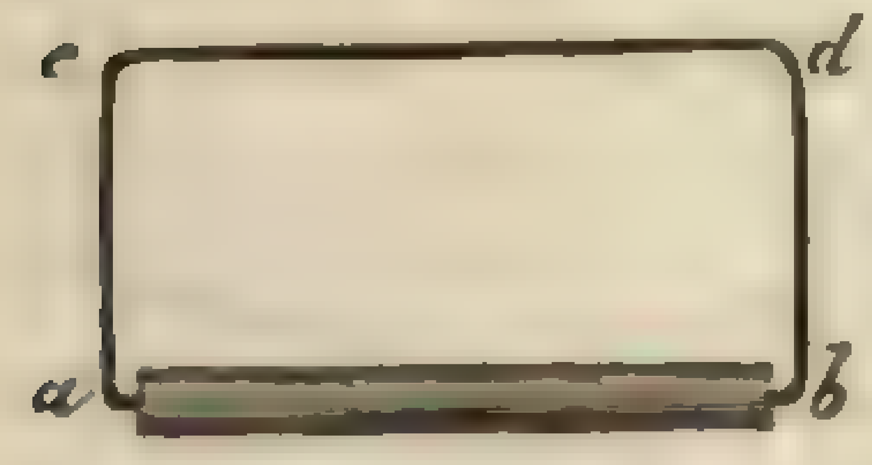
Fig. 390.



zusammengelöthet. Um den Versuch zu machen, erwärmt man vorsichtig die eine Löthstelle über einer kleinen Weingeistlampe und hält dann eine der längeren Seiten des Rechtecks gerade über die sich noch in ihrer Ruhelage befindliche Magnetnadel. Es ist hier noch zu bemerken, daß Fig. 390 in einem kleineren Maaßstabe gezeichnet ist als Fig. 389; man muß das Rechteck aus Wismuth und Antimon doch so groß machen, daß jede der längeren Seiten wenigstens die Länge der Magnetnadel hat.

Häufig haben die einfachen thermo-elektrischen Ketten auch die Fig. 391 dargestellte Einrichtung. ab ist ein Stäbchen von Antimon oder Wismuth, an dessen beiden Enden ein Kupferdraht $aedb$ angelöthet ist. Um den Versuch zu machen, wird die eine Löthstelle erwärmt und das Drahtstück ed über die Nadel gehalten.

Fig. 391.



Seebeck ist der Entdecker dieser Ströme, die er thermo-elektrische Ströme nannte. Ein aus zwei Metallen, die an zwei Stellen zusammengelöthet oder auf andere Weise in metallische Berührung gebracht sind, gebildeter geschlossener Bogen wird ein thermo-elektrisches Element genannt.

Die bisher betrachteten thermo-elektrischen Elemente bilden an und für sich

schon einen geschlossenen Leitungsbogen; man kann sie aber auch offen machen und die Schließung der Kette durch einen Multiplicator bewerkstelligen.

Fig. 392.



Fig. 392 stellt ein offenes thermo-elektrisches Element dar. In die beiden Enden eines Wismuthstabes sind Kupferdrähte eingelöthet. Bringt man die Enden *c* und *d* mit den Drahtenden eines Multiplicators in leitende Verbindung, so wird die Nadel derselben schon abgelenkt, wenn die eine Löthstelle ein wenig mehr erwärmt wird als die andere.

Um mit Hülfe eines Multiplicators die thermo-elektrischen Ströme zu untersuchen, welche irgend zwei Metalle mit einander geben, wie z. B. Eisen und Platin, reicht es hin, ein Stück Platindraht durchzuschneiden und jedes Stück an dem einen Ende des Multiplicatordrahtes zu befestigen, so daß ein vollkommen metallischer Contact zwischen Platin und Kupfer besteht. Ist diese Einrichtung getroffen, so ist es gerade so gut, als ob der ganze Multiplicatordraht von Platin wäre, vorausgesetzt, daß die beiden Berührungsstellen zwischen dem Kupfer- und Platindraht ganz gleiche Temperatur haben; man braucht dann nur zwischen den beiden Platinenden ein Stück Eisendraht anzubringen und die eine Berührungsstelle zwischen Platin und Eisen zu erwärmen, während die andere kalt bleibt, so erhält man den thermo-elektrischen Strom, welcher von der Temperaturdifferenz der beiden Stellen herrührt, in welchen sich Platin und Eisen berühren.

Wenn man verschiedene Metalle diesem Versuche unterwirft, so findet man große Verschiedenheiten; denn während irgend zwei Metalle einen kräftigen Strom geben, geben zwei andere unter ganz gleichen Verhältnissen nur einen außerordentlich schwachen Strom.

Die Untersuchungen, die man über das gegenseitige Verhalten verschiedener Metalle in Beziehung auf die Erregung thermo-elektrischer Ströme gemacht hat, haben gezeigt, daß sich die Metalle in eine Reihe zusammenstellen lassen, welche die Eigenschaft hat, daß, wenn man aus je zwei Metallen dieser Reihe eine Kette bildet und an der einen Berührungsstelle erwärmt, an dieser erwärmten Löthstelle der positive Strom von dem in der Reihe tiefer stehenden Metall zu den höher stehenden übergeht.

Antimon	Zinn
Arsenik	Silber
Eisen	Mangan
Zink	Kobalt
Gold	Palladium
Kupfer	Platin
Messing	Nickel
Rhodium	Quecksilber
Blei	Wismuth.

In dem Apparate Fig. 388 geht also, wenn die Löthstelle bei *s* erwärmt ist, der Strom in der Richtung von *s* über *c* nach *s'* und dann nach *s* zurück; an der erwärmten Berührungsstelle *s* ist also das in der Reihe höher stehende Kupfer positiv gegen das tiefer stehende Wismuth. In dem Rechteck Fig. 390 circulirt der positive Strom in der Richtung der Pfeile, wenn die Löthstelle bei *s* wärmer ist.

Nach dem Gesetz der Spannungsreihe kann unter gewöhnlichen Umständen in einem aus zwei Metallen gebildeten Schließungsbogen, wie z. B. in Fig. 390 kein Strom entstehen, weil die elektromotorische Kraft an der einen Berührungsstelle der auf der anderen Seite wirkenden gleich und entgegengesetzt ist. Da wir nun bei Erwärmung der einen Berührungsstelle einen elektrischen Strom entstehen sehen, so ist dies ein Beweis, daß die elektrische Differenz der Metalle nicht für alle Temperaturen dieselbe ist.

Die elektromotorische Kraft eines thermo-elektrischen Elementes ist sehr gering, es kann also überhaupt nur schwache Ströme liefern; da nun aber ferner der wesentliche Leitungswiderstand eines thermo-elektrischen Elementes gering ist, indem es nur aus Metallen besteht, so ist klar, daß man in den Schließungsbogen desselben keinen bedeutenden Widerstand einschalten darf, wenn der Strom nicht allzusehr geschwächt werden soll. Aus diesen Gründen wendet man für thermo-elektrische Ströme Multiplicatoren an, welche aus wenigen Windungen eines etwas dicken Drahtes gebildet sind (ungefähr 200 Windungen eines 1 Millimeter dicken Drahtes). Man unterscheidet solche Multiplicatoren gewöhnlich durch den Namen »Thermomultiplicatoren« von solchen, welche aus einer größeren Anzahl von Windungen eines dünneren Drahtes bestehen.

Verbindet man die Drahtenden eines Thermomultiplicators durch einen scheinbar ganz homogenen Metalldraht, so beobachtet man manchmal thermo-elektrische Ströme, wenn man diesen Verbindungsdraht an irgend einer Stelle erwärmt. Es ist dies offenbar die Folge von irgend einer Ungleichförmigkeit im Draht. Eine solche Ungleichförmigkeit wird z. B. schon dadurch hervorgebracht, daß man an irgend einer Stelle eines Drahtes einen Knoten macht, wie Fig. 393 andeutet. Erwärmt man dann den Draht in der Nähe dieses Knotens, so entsteht alsbald ein Strom, welcher, nach Becquerel's Beobachtung, in einem Platindraht in der Richtung von der erwärmten Stelle zum Knoten geht, während Nobili mit leichter orydirbaren Metallen, wie Zink und Eisen, Ströme in entgegengesetzter Richtung erhielt.

Fig. 393.



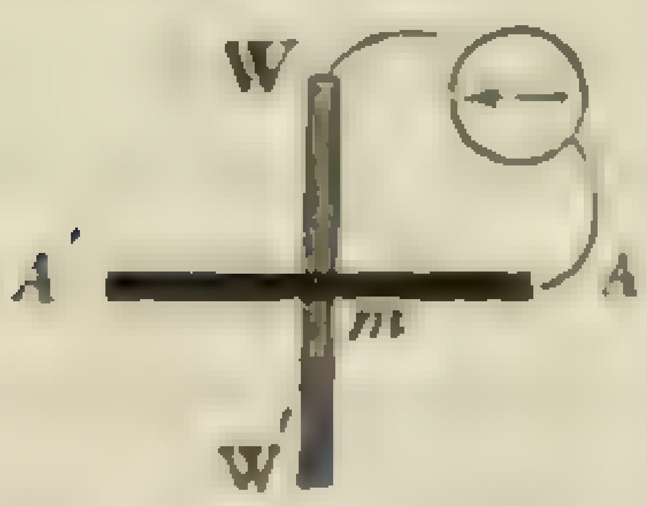
Kälteerzeugung durch den elektrischen Strom. Peltier löthete 134
einen Stab von Wismuth und einen von Antimon, welche ungefähr $4^1/_2$ Zoll lang waren und einen quadratischen Querschnitt von 4 Linien hatten, so auf einander, daß sie ein Kreuz bildeten; an der Kreuzungsstelle waren sie in ein-

ander eingelassen; jeder einzelne Stab hatte also die Gestalt Fig. 394. Die Fig. 395 stellt das ganze Kreuz, und zwar der schwarze Arm den Antimonstab, der helle Arm den Wismuthstab dar. Wird nun zwischen die Stabenden *W* und *A* ein Multiplicator eingeschaltet, wie dies in der Figur angedeutet ist, so wird dieser Multiplicator nach der einen Seite ausschlagen, wenn man die Löthstelle erwärmt, nach der anderen, wenn man sie erkaltet.

Fig. 394.



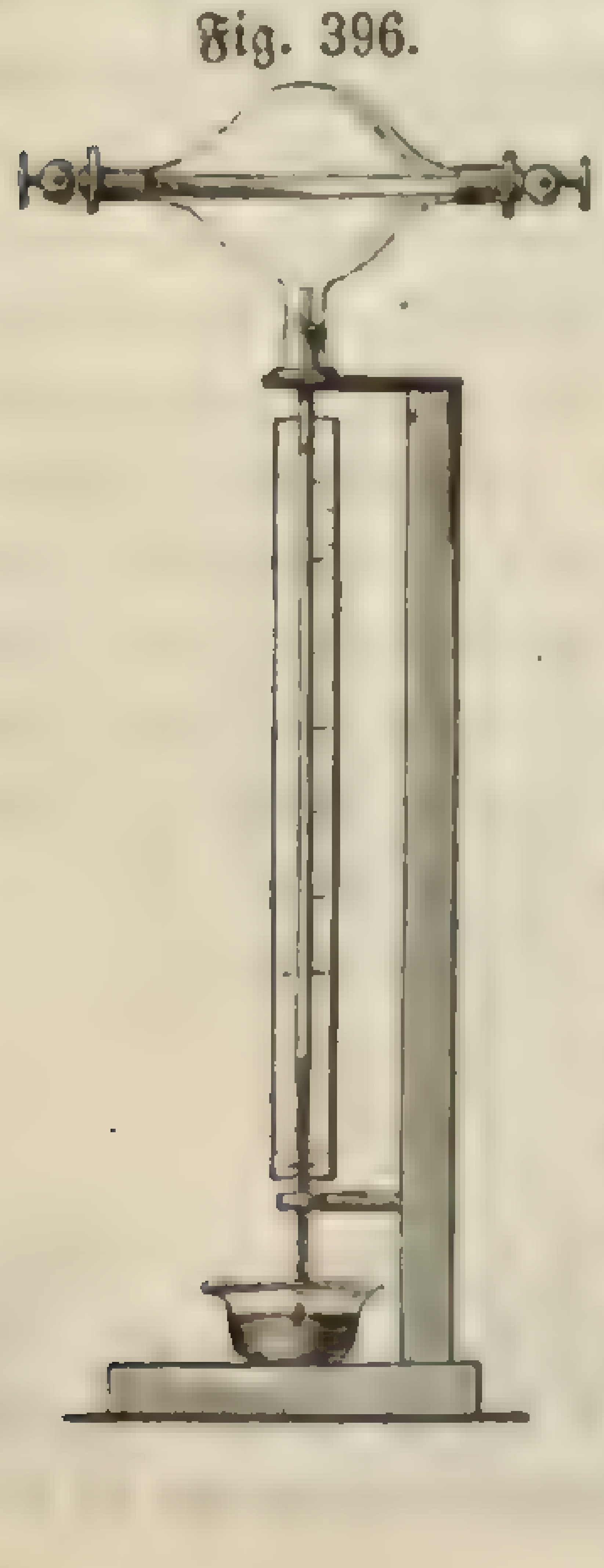
Fig. 395.



Nun aber verband Peltier *A'* mit dem einen, *W'* mit dem anderen Pole eines Volta'schen Elements, so daß ein Strom die Arme *A'm* und *mW'* durchlief. Auch nun wurde die Multiplicatornadel abgelenkt, und zwar zeigte die Ablenkung eine Erwärmung bei *m* an, wenn der positive Strom von *A'* über *m* nach *W'* ging, eine Erkaltung, wenn er in entgegengesetzter Richtung circulirte.

Diese Erkaltung durch den elektrischen Strom läßt sich auch mit Hülfe des Apparates Fig. 396 direct nachweisen. Durch die Kugel des Luftthermometers, dessen Röhre in ein Gefäß mit farbiger Flüssigkeit getaucht ist, die noch einen Theil der Röhre selbst füllt, geht luftdicht ein Stäbchen hindurch, dessen eine Hälfte Wismuth, dessen andere Antimon ist. Läßt man einen galvanischen Strom durch das Stäbchen hindurchgehen, so zeigt das Sinken der Flüssigkeit eine Erwärmung der Löthstelle an, wenn der positive Strom vom Antimon zum Wismuth geht; läßt man aber den Strom in entgegengesetzter Richtung circuliren, so steigt die Flüssigkeit in der Röhre des Thermometers, was eine Erkaltung der Löthstelle anzeigt.

Fig. 396.



Lenz machte an der Löthstelle eines Wismuth- und Antimonstabes ein Loch, füllte es mit Wasser und legte den Stab auf schmelzenden Schnee, mit welchem er auch die übrigen Theile desselben mit Ausnahme der Löthstelle bedeckte. Die Stange erhält dadurch natürlich eine Temperatur von 0°, welche auch ein in das Wasser der Löthstelle eingetauchtes Thermometer angab. Als aber der Stab so zwischen die Pole eines Volta'schen Elementes eingeschaltet wurde, daß der positive Strom vom Wismuth zum Antimon ging, war das Wasser im Loche der Löthstelle nach 5 Minuten vollständig gefroren, und das Thermometer sank auf — 3,5°.

Thermo-elektrische Säulen. So wie man mehrere Volta'sche Ele- 135
mente, so kann man auch mehrere thermo-elektrische Elemente zu einer thermo-elektrischen Säule vereinigen, welche einen Strom geben, wenn man die Löthungsstelle 1, 3, 5 u. s. w. erwärmt, während die dazwischenliegenden kalt bleiben.

Solche thermo-elektrische Säulen werden angewendet, um an einem eingeschalteten Multiplicator schon bei ganz geringer Temperaturdifferenz der Löthstellen eine Ablenkung der Nadel hervorzubringen. Unter allen zu diesem Zwecke construirten Säulen ist unstreitig die von Nobili angegebene die sinnreichste und empfindlichste; sie ist Fig. 397 dargestellt. Sie ist aus 25 bis 30 sehr feinen Stäbchen von Wismuth und Antimon zusammengesetzt, welche ungefähr 4 bis 5 Centimeter lang sind. Sie sind zusammengelöthet, wie man Fig. 398 sieht, nämlich so, daß alle paarigen Löthstellen auf der einen, alle unpaarigen auf der anderen Seite sich befinden. Das Ganze bildet einen kleinen compacten und festen Bündel, weil die Zwischenräume zwischen den einzelnen Stäbchen mit einer isolirenden Substanz, etwa mit Gyps, ausgefüllt sind, denn sie dürfen sich natürlich nur an den Löthstellen berühren. Das eine der beiden Halbelemente endlich, mit denen die Kette endigt, ist mit dem Stifte x, das andere mit dem Stifte y in Verbindung, und diese Stifte bilden die beiden Pole der Säule; mit ihnen werden die Enden des Multiplicatordrahtes in Verbindung gebracht.

Fig. 397.

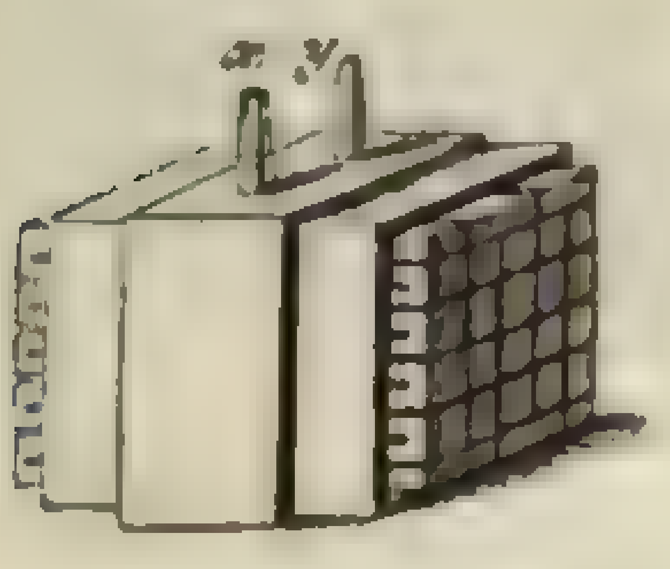
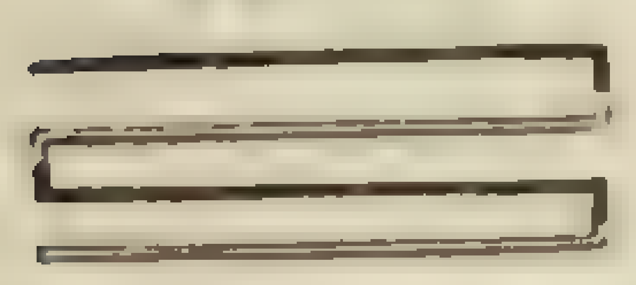


Fig. 398.



Man hat der thermo-elektrischen Säule für specielle Untersuchungen besondere Formen gegeben, die wir jedoch hier nicht näher betrachten können.

Mit einer thermo-elektrischen Säule, welche nach demselben Princip construirt ist, wie die Fig. 397, deren Elemente aber größer sind, kann man sehr kräftige thermo-elektrische Ströme hervorbringen, wenn die beiden Enden sehr ungleichen Temperaturen ausgesetzt werden. Zu diesem Zwecke wird die Säule vertikal gestellt, die untere Fläche in Schnee oder in eine Kältemischung getaucht, während die obere Fläche der Strahlung einer glühenden Eisenplatte ausgesetzt ist.

Thermo-elektrische Säulen zur Erzeugung starker Ströme durch Temperaturdifferenzen werden aus Eisen und Platin, oder, nach Poggendorff's Angaben, aus Eisen und Neusilber construirt.

Wirkungen des thermo-elektrischen Stromes. Der thermo-elektrische 136
Strom bringt alle Wirkungen eines hydro-elektrischen Stromes hervor, nur sind die Effecte sehr schwach, wenn ein einigermaßen bedeutender Leitungswiderstand zu überwinden ist.

Daß der thermo-elektrische Strom magnetische Wirkungen hervorbringt, geht schon aus der Ablenkung der Multiplicatornadel hervor; es ließ sich also von

vornherein erwarten, daß der Thermostrom auch Elektromagnete hervorzubringen im Stande sey. In der That brachte Watkins durch den Strom einer großen Säule von 30 Wismuth- und Antimonpaaren einen Elektromagneten zu Stande, der 90 Pfund trug.

Die chemischen Wirkungen des thermo-elektrischen Stromes sind wegen des großen Leitungswiderstandes der Flüssigkeiten sehr unbedeutend, doch haben Botte in Turin und Alexander Wasserzersetzung auf diesem Wege zu Stande gebracht.

Wärmeentwickelung erhielt Watkins durch den Thermostrom in einem elektrischen Luftthermometer und in einem Breguet'schen Metallthermometer.

Mit einer Säule von 81 Wismuth- und Antimonpaaren, in welcher jeder Stab 27''' lang, 5''' breit und 4''' dick war, erhielt Münke noch keine directen Oeffnungs- oder Schließungsfunken, wohl aber Oeffnungsfunken, wenn sich eine Inductionsspirale im Schließungsbogen der Säule befand.

Neuntes Kapitel.

Physiologische Wirkungen des galvanischen Stromes und thierische Elektricität.

137 **Galvanische Zuckung.** Die Zuckungserscheinung, welche wir bereits S. 129 kennen gelernt haben, und deren Beobachtung eine neue Aera der Elektricitätslehre eröffnete, ist ein zusammengesetztes Phänomen. — Galvani suchte, wie wir bereits gesehen haben, die Quelle der Elektricitätserregung in dem Froschpräparate selber, während Volta dagegen die Behauptung aufstellte, daß die Zuckung lediglich durch einen elektrischen Strom erzeugt werde, dessen Quelle außerhalb des Froschpräparates zu suchen sey und als deren Sitz er die Berührungsstelle der heterogenen Metalle bezeichnete, aus welchen der Leitungsbogen zusammengesetzt ist.

Volta's Ansicht errang den Sieg, und allerdings ist es vorzugsweise, wenn auch nicht ausschließlich, die durch die Berührung verschiedener Metalle erzeugte Elektricität, welche die Zuckung bei der ursprünglichen Form des Galvani'schen Zuckungsversuches hervorruft. — Wenn das Froschpräparat noch sehr empfindlich ist, so gelingt es allerdings, wie schon Galvani zeigte, auch Zuckungen nicht allein mit gleichartigem Metallbogen, sondern auch ganz ohne Metalle hervorzubringen. Wenn aber die Empfindlichkeit des Präparats so weit abgenommen hat, daß sich unter diesen Umständen keine Zuckungen mehr zeigen, so treten sie bei Anwendung eines aus zwei verschiedenen Metallen zusammengesetzten Schließungsbogens sogleich wieder ein.

Wenn nun dadurch auch die Ueberlegenheit eines aus heterogenen Metallen gebildeten Schließungsbogens dargethan ist, so findet, wie wir in den folgenden Paragraphen sehen werden, in den Muskeln des Froschpräparates selbst eine Elektricitätsentwickelung Statt, wenn auch in anderer Weise als es Galvani sich vorstellte, und diese Elektricitätsentwickelung ist es, welche allein die Zuckung ohne Metalle bewirkt, die wir bald näher werden kennen lernen.

Soviel ist aber aus dem Gesagten schon klar, daß das Froschpräparat ein sehr empfindliches Rheoskop ist, welches in vielen Fällen selbst mit dem Multiplicator wetteifert. Wir haben bereits Seite 157 gesehen, daß eine Volta'sche Säule von vielen Plattenpaaren auch in dem lebenden Körper Zuckungen hervorbringen kann, welche denen des galvanischen Froschpräparates entsprechen.

Wenn der Froschschenkel schon unter Umständen zuckt, unter welchen am lebenden Körper auch nicht die leiseste Spur eines Schlages wahrzunehmen ist, so liegt der Grund davon lediglich darin, daß bei dem galvanischen Präparat der Strom in einer ganzen Strecke seiner Bahn auf den Nerven allein angewiesen ist, während er beim lebenden Körper einen Leiter von viel größerem Querschnitt, die Arme z. B. durchläuft, so daß also nur ein unbedeutender Theil des gesammten Stromes auf die Nerven kommt.

Um das Froschpräparat recht empfindlich zu machen, kommt es darauf an, sich ein möglichst langes Stück des Nerven freiliegend zu verschaffen; dies ist bei dem stromprüfenden Froschschenkel der Fall, welcher Fig. 399 abgebildet ist. Er besteht aus einem bloßen Unterschenkel vom Frosch, an welchem

Fig. 399.



der ganze Verlauf des Nervus ischiadicus von der Kniekehle bis zu den Lendenwirbeln erhalten ist.

Ein stromprüfender Froschschenkel kann also zur Nachweisung schwacher elektrischer Ströme gebraucht werden, welche man durch den Nerven des Präparates gehen läßt; der stromprüfende Schenkel kann also als ein Rheoskop dienen, welches wir von dem magnetischen und dem chemischen als physiologisches Rheoskop unterscheiden wollen.

Die Eigenthümlichkeiten des physiologischen Rheoskops werden wir im folgenden Paragraphen kennen lernen.

Allgemeines Gesetz der Nervenerregung durch den elektrischen Strom. 138 Schließt man eine Volta'sche Säule von nicht übermäßig vielen Plattenpaaren durch den menschlichen Körper, indem man jeden der Pole der Säule mit einer Hand berührt, so fühlt man einen Schlag; der fortdauernd durch den Körper circulirende Strom bringt kaum eine merkliche Wirkung

hervor, während man einen zweiten Schlag empfindet, im Moment, in welchem man die Kette öffnet.

Aehnliches beobachtet man beim stromprüfenden Froschschenkel. Er antwortet nur auf das Eintreten und Aufhören des Stromes, oder allgemeiner ausgedrückt, nur auf die Schwankungen der Stromstärke, verhält sich aber ruhig während der Dauer eines gleichbleibenden Stromes.

Du Bois-Reymond hat dies in präciser Fassung als oberstes Gesetz der elektrischen Reizversuche in folgender Weise ausgesprochen:

Nicht der absolute Werth der Stromdichtigkeit in jedem Augenblicke ist es, auf den der Bewegungsnerv mit Zuckung antwortet, sondern die Veränderung dieses Werthes von einem Augenblicke zum anderen, und zwar ist die Anregung zur Bewegung, welche diesen Veränderungen folgt, um so bedeutender, je schneller sie bei gleicher Größe vor sich gingen oder je größer sie in der Zeiteinheit waren.

Dadurch erklärt sich nun auch, warum man bei Entladung einer Leidener Flasche einen so heftigen Schlag fühlt. Obgleich die dabei durch den Körper gehende Elektricitätsmenge außerordentlich gering ist, so ist wegen der großen Schnelligkeit der Entladung die physiologische Wirkung doch eine sehr bedeutende.

An die Schläge der Leidener Flasche schließen sich in physiologischer Beziehung zunächst die Wirkungen der Inductionsströme an.

Es muß hier noch bemerkt werden, daß das oben ausgesprochene Gesetz in aller Strenge nur für die Bewegungsnerven gilt. Was die Empfindungsnerven betrifft, so sind sie sämmtlich, so weit sie sich überhaupt dem elektrischen Strome unterthan zeigen, neben der auf Schwankungen der Dichtigkeitscurve auftretenden Wirkung auch einer Reaction auf die Fortdauer der Strömung in beständiger Größe fähig.

Schon Volta spricht von einem eigenthümlichen fortdauernden Gefühl, welches man nach dem Schließen einer Zinksilbersäule von 100 und mehr Plattenpaaren empfindet. Sehr bekannt ist der heftig stechende, brennende Schmerz, den man an verwundeten Hautstellen sogar im Kreise der einfachen Kette verspürt.

Eben so anhaltend ist der elektrische Geschmack.

Was den Gesichtssinn betrifft, so scheint Volta nur den Schließungs- und Oeffnungsblitz gesehen zu haben; Ritter hat aber schon mittelst der einfachen Kette dauernde Lichtwirkungen beobachtet.

Wenn man den Strom einer Säule von 30 bis 40 Plattenpaaren mittelst Sonden in die Ohren einführt, so beobachtet man ein continuirliches Geräusch u. s. w.

Wenn nun aber in den Empfindungsnerven auch der gleichförmig fort-

dauernde Strom gefühlt wird, so ist doch selbst bei diesen die Wirkung beim Schluß und Oeffnen bedeutend stärker, als die continuirliche.

So zeigt sich denn eine ziemlich große Aehnlichkeit mit der Nervenerregung und der Induction, worauf Marianini zuerst aufmerksam gemacht hat.

An frisch präparirten Froschschenkeln, welche noch einen hohen Grad von Erregbarkeit besitzen, beobachtet man eine kräftige Oeffnungs- und Schließungszuckung, mag nun die Richtung des Stromes die aufsteigende oder die absteigende seyn. Nimmt aber die Erregbarkeit ab, so sieht man je nach der Strömungsrichtung bald die Oeffnungs-, bald die Schließungszuckung schwächer werden oder ganz verschwinden, während sie bei der entgegengesetzten Stromrichtung noch vorhanden ist. Du Bois hat dies Gesetz der Zuckungen folgendermaßen formulirt:

Man findet in den meisten Fällen und auf der mittleren Stufe der Erregbarkeit, daß, je nach der Richtung, in welcher der Nerv durchflossen wird, bald die Schließungs- und bald die Oeffnungszuckung stärker ausfällt, ja daß nur die eine, und die andere gar nicht zum Vorschein kommt. Die stärkere Schließungszuckung gehört dem Strome an, der vom Ursprunge der Nerven nach ihrer Ausbreitung gerichtet ist, die stärkere Oeffnungszuckung dem entgegengesetzt kreisenden.

Die einfachste Art, die Erscheinung zu zeigen, ist folgende: Man trennt am Galvani'schen Präparat die beiden Beine vollständig von einander, und läßt jeden Fuß in ein mit Salzwasser gefülltes Gefäß herabhängen, wie Fig. 400 (a. f. S.) zeigt. In diese Gefäße werden die Poldrähte einer Galvani'schen Kette, etwa eines Bunsen'schen Elementes, eingetaucht. Durch Herausnehmen und wieder Einstecken des einen dieser Drähte aus dem Gefäß kann man nach Belieben die Kette öffnen und schließen. Hat die Empfindlichkeit des Präparates bis zu dem entsprechenden Grade abgenommen, so sieht man beim Schließen nur das eine, beim Oeffnen nur das andere Bein zucken.

Denjenigen Strom, welcher von dem Ursprunge gegen die Ausbreitung der Nerven hin gerichtet ist, kann man kurz den absteigenden nennen, während man als aufsteigenden Strom denjenigen bezeichnet, welcher sich im Nerv von der Ausbreitung gegen den Ursprung hin bewegt.

Nach diesem Gesetze kann man die Richtung eines Stromes ermitteln. Wenn der Schenkel beim Schließen zuckt und nicht beim Oeffnen, so hat man mit einem absteigenden Strome zu thun. Bringt man nun den Nerven in entgegengesetzter Richtung in die Kette, so muß der Schenkel jetzt beim Schließen vergleichsweise ruhig bleiben, und zucken, wenn die Kette geöffnet wird.

Die Angaben über Stromesrichtung durch Zuckungen sind jedoch keineswegs

so sicher und präcis, wie diejenigen des Multiplicators, indem häufige Unregelmäßigkeiten vorkommen.

Fig. 400.



139 **Der Muskelstrom.** Es ist schon bemerkt worden, daß es bereits Galvani gelungen ist, indem er seine Theorie gegen Volta's Angriffe zu vertheidigen suchte, eine Zuckung ohne Metalle hervorzubringen. Schneidet man nach seiner Angabe an dem Galvani'schen Froschpräparat die Nerven dicht an ihrer Austrittsstelle aus dem Wirbelkanal ab, und bringt man sie, ohne sie in eine Flüssigkeit zu tauchen oder sonst einem verändernden Einfluß auszusetzen, mit der Außenfläche des Schenkels in Berührung, so zuckt der Schenkel. Auch der folgende Versuch ist bereits von Galvani angestellt worden: wenn man zwei mit Salzlösung gefüllte Gläser neben einander stellt,

in das eine die Füße, in das andere die Wirbelsäule des Galvani'schen Präparates eintaucht, so erfolgt eine Zuckung derselben, sobald man die beiden Gefäße durch befeuchtete Asbest- oder Baumwollendochte leitend verbindet.

Auch Humboldt stellte Versuche an, welche die Elektricitätsentwickelung in den Froschpräparaten unwiderleglich darthun; allein die bald darauf erfolgte Entdeckung der Volta'schen Säule lenkte die Aufmerksamkeit der Naturforscher so sehr von diesen Versuchen ab, daß sie bald ganz in Vergessenheit geriethen.

Erst nach Entdeckung des Elektromagnetismus wurde dieser Gegenstand wieder aufgenommen. Nobili wollte die Empfindlichkeit seines Multiplicators mit der des Froschpräparates vergleichen. Er stellte den letzteren der eben besprochenen Galvani'schen Versuche in der Weise an, daß er in den leitenden Schließungsbogen, welcher die beiden Gefäße verbinden sollte, den Multiplicator einschaltete. Bei den ersten Versuchen zuckte das Froschpräparat, aber die Nadel des Multiplicators blieb ruhig; das Froschpräparat war also empfindlicher als der Multiplicator.

Nobili stellte einen neuen vollkommeneren Multiplicator her und nun gelang es ihm, auf die angedeutete Weise einen ersten Ausschlag von 10, 20, ja von 30° zu erhalten.

Die Ablenkung des Multiplicators war stets so gerichtet, daß sie einen positiven Strom von den Muskeln zu den Nerven oder von den Füßen zu dem Kopfe im Frosche anzeigte. Diesen Strom, denselben, welchen die Galvani'sche Zuckung ohne Metalle erzeugt, nennt Nobili »la corrente propria della rana«; wir nennen ihn Froschstrom.

Der Froschstrom ist nicht bloß im Augenblick der Schließung, sondern dauernd vorhanden; in einem einzelnen Falle erhielt Nobili 5° beständiger Ablenkung. — Die Wirkung wird verstärkt, wenn man mehrere Frösche, nach dem Gesetz der Säule geordnet, in den Kreis einführt; ein zweiter Frosch gab 8°, ein dritter gab 11° beständiger Ablenkung. — Das Daseyn des Stromes ist von der Fähigkeit des Frosches, mit Zuckung darauf zu antworten, völlig unabhängig, was daraus hervorgeht, daß die Multiplicatorwirkungen mehrere Stunden fortdauern, während die Zuckungen höchstens nach $\frac{1}{4}$ Stunde aufhören.

Nobili war der Meinung, daß diese Ströme thermo-elektrischen Ursprungs seyen.

Nach Nobili hat zunächst Matteucci die Untersuchungen über die thierische Elektricität fortgesetzt. Er bediente sich zu seinen Versuchen eines Multiplicators von 2500 Windungen. Die Drahtenden dieser Windungen waren mit Platinplatten versehen, welche in zwei mit verdünnter Salzlösung gefüllte Porzellangefäße tauchten. Die Schließung der Kette geschah dadurch, daß er die beiden Gefäße mittelst des Froschpräparates verband.

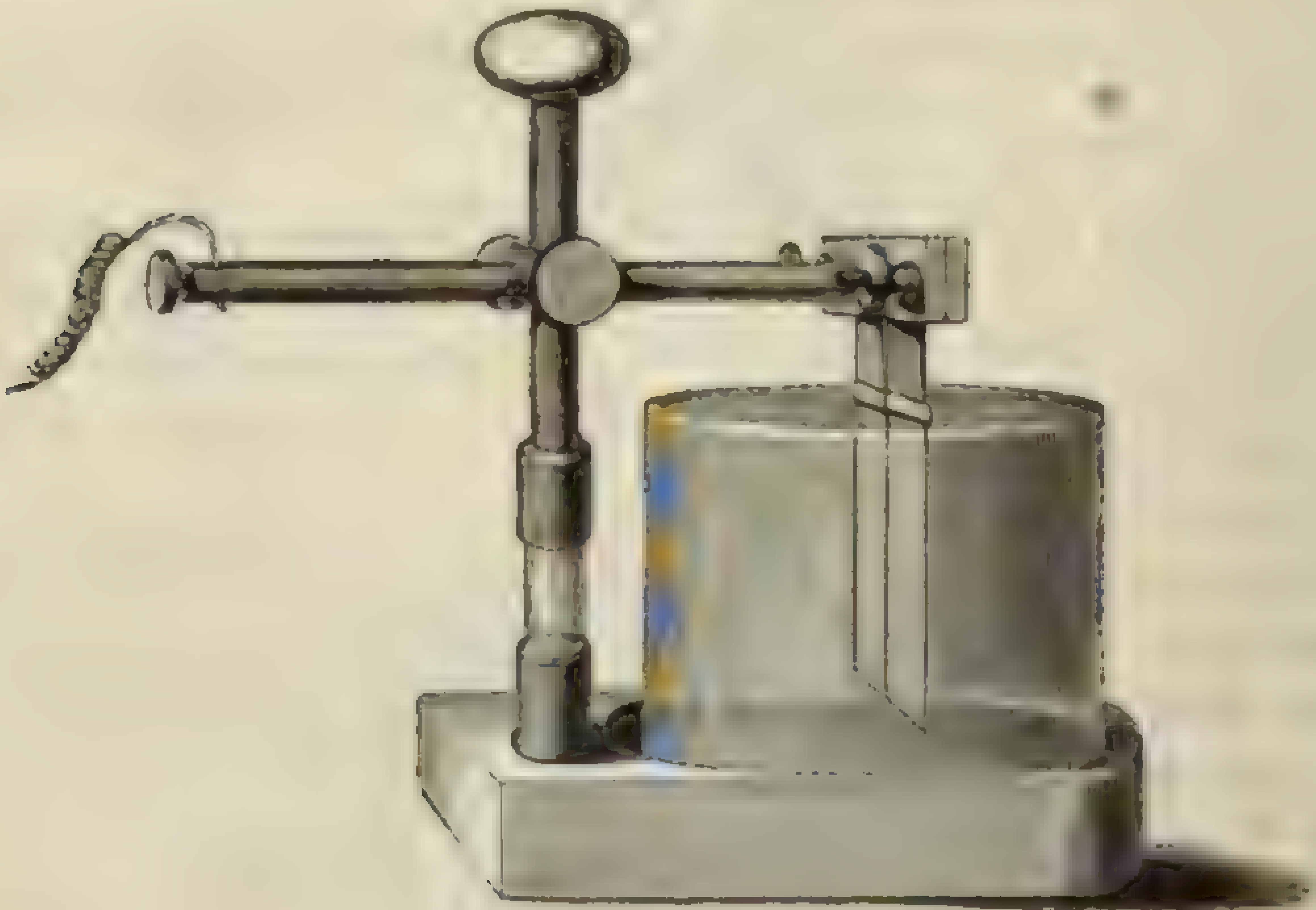
Die wichtigsten Resultate, die er auf diesem Wege erhielt, sind folgende: Man erhält einen Strom, eben so stark wie der des Galvani'schen Präparates, wenn man den ganzen enthäuteten Frosch zum Versuch anwendet und die Füße in das eine, den Kopf oder Rücken in das andere Gefäß taucht.

Mit dem Galvani'schen Präparat erhält man den Strom noch in ungeschwächter Stärke, und immer in gleicher Richtung, wenn man, nachdem die Nerven ganz weggeschnitten sind, den Unterschenkel auf der einen, den Oberschenkel auf der anderen Seite eintaucht.

Du Bois-Reymond ging weiter. Er zeigte, daß jeder einzelne Muskel elektromotorisch wirkt, und entwickelte alsbald das wahre Gesetz des Muskelstromes.

Den Versuchen über thierische Elektricität wußte Du Bois eine Sicherheit zu geben, wie man sie bis dahin noch nicht kannte. Zu seinen Versuchen über den Muskelstrom bediente er sich eines Multiplicators von 4600 Windungen. Mit jedem Ende des Multiplicatordrahtes ist eine Platinplatte in Verbindung gebracht, wie man es Fig. 401 sieht. Die Platte ist durch eine Klemme von Messing gehalten, die sich am einen Ende eines horizontalen

Fig. 401.



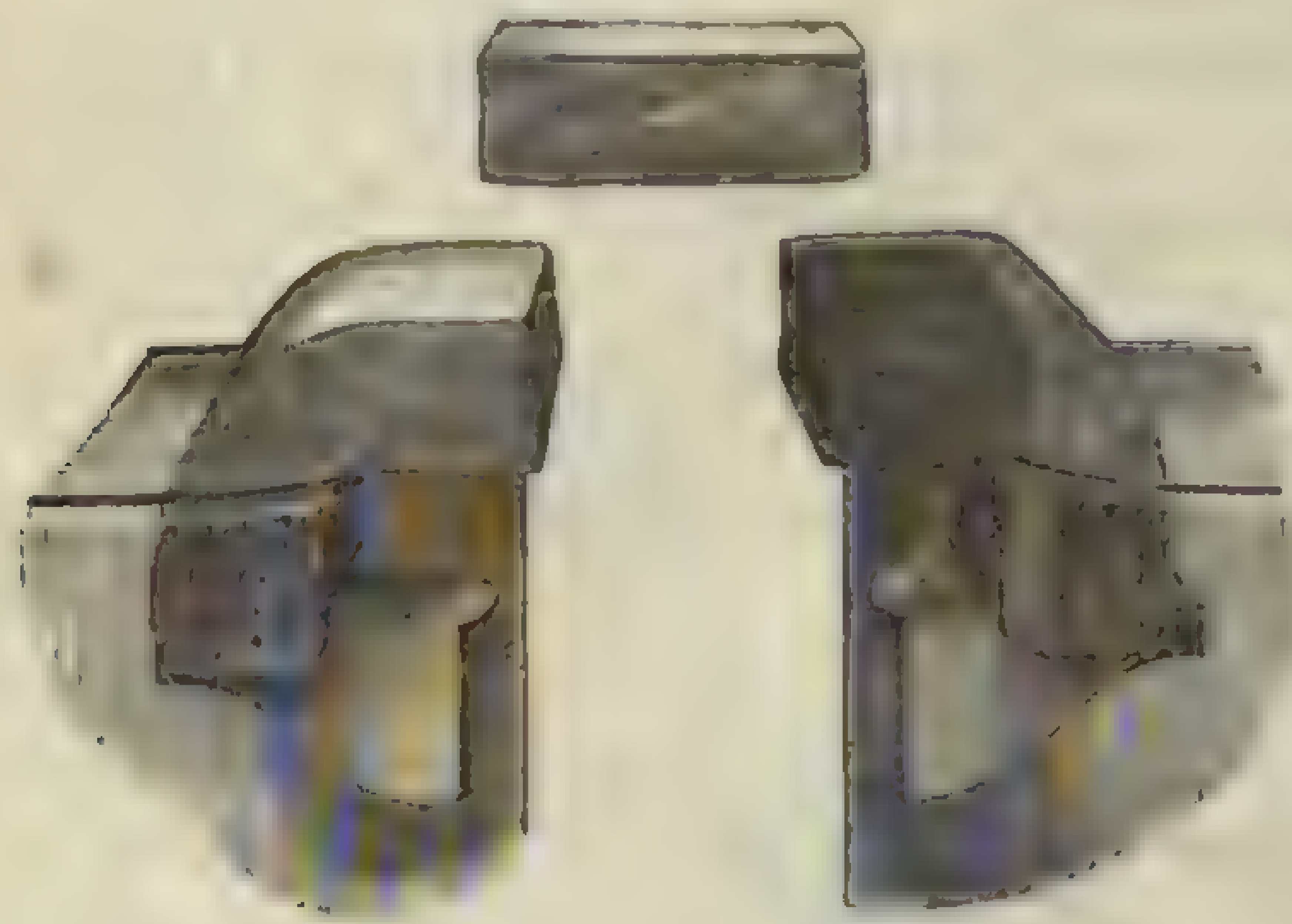
Messingstabes befindet, an dessen anderem Ende das eine Ende des Multiplicatordrahtes eingeschraubt ist. Die Platinplatte hängt in ein mit concentrirter Kochsalzlösung gefülltes Gefäß herab.

Jedes der beiden Multiplicatorenden ist auf diese Weise mit einer Platinplatte versehen, und die beiden Zuleitungsgefäße werden dicht neben einander gestellt. Man braucht diese Zuleitungsgefäße nur durch den zu prüfenden thierischen Körpertheil zu verbinden, um die Wirkung des Muskelstromes auf den Multiplicator zu erhalten.

Das unmittelbare Eintauchen der thierischen Theile in die Salzlösung ist jedoch nur bei gröberen Versuchen zulässig, weil bei feineren Untersuchungen das Anätzen der thierischen Theile durch die concentrirte Salzlösung störend wirkt. Für diese Fälle wendet nun Du Bois Bäusche von Fließpapier an. Es sind dies die Compressen oder Bäusche aus sehr vielen Lagen feinen

Fließpapiers, welche, mit der gesättigten Salzlösung getränkt, auf den Rand der Zuleitungsgefäße aufgelegt werden, wie Fig. 402 zeigt. Sie ruhen, außer auf dem Rande der Gefäße selbst, innerhalb derselben noch auf gefirnißten

Fig. 402.



Holzklötzchen, welche an die Wand der Gläser angekittet sind. Man kann diese Bäusche die **Zuleitungsbäusche** nennen. Die Schließung der Kette wird durch einen dritten, gleichfalls mit der Salzlösung getränkten Bausch, den Schließungsbausch, bewirkt, welcher auf die Zuleitungsbäusche gelegt wird. Um den auf Elektricitätserregung zu prüfenden thierischen Körper in die Kette einzuschalten, muß man natürlich erst den Schließungsbausch entfernen. Nun darf man aber die thierischen Theile nicht unmittelbar auf die Zuleitungsbäusche legen, weil sonst das erwähnte Anätzen stattfinden würde, welches für sich schon Zuckungen hervorbringen kann. Um diese unmittelbare Berührung zu hindern, legt **Du Bois** an derjenigen Stelle der Bäusche, wo die thierischen Körpertheile applicirt werden sollen, erst ein sogenanntes **Eiweißhäutchen** auf, d. h. ein Stückchen getrockneter Schweinsblase (20^{mm} lang, 13^{mm} breit), welches in Eiweiß vollständig aufgeweicht worden ist. Auf den Bausch kommt also das Eiweißhäutchen und auf dieses erst der thierische Elektromotor.

Zu manchen Versuchen ist noch ein Zwischenbausch nöthig, welcher zwischen den Bäuschen der Zuleitungsgefäße in der Weise angebracht ist, wie Fig. 403 zeigt.

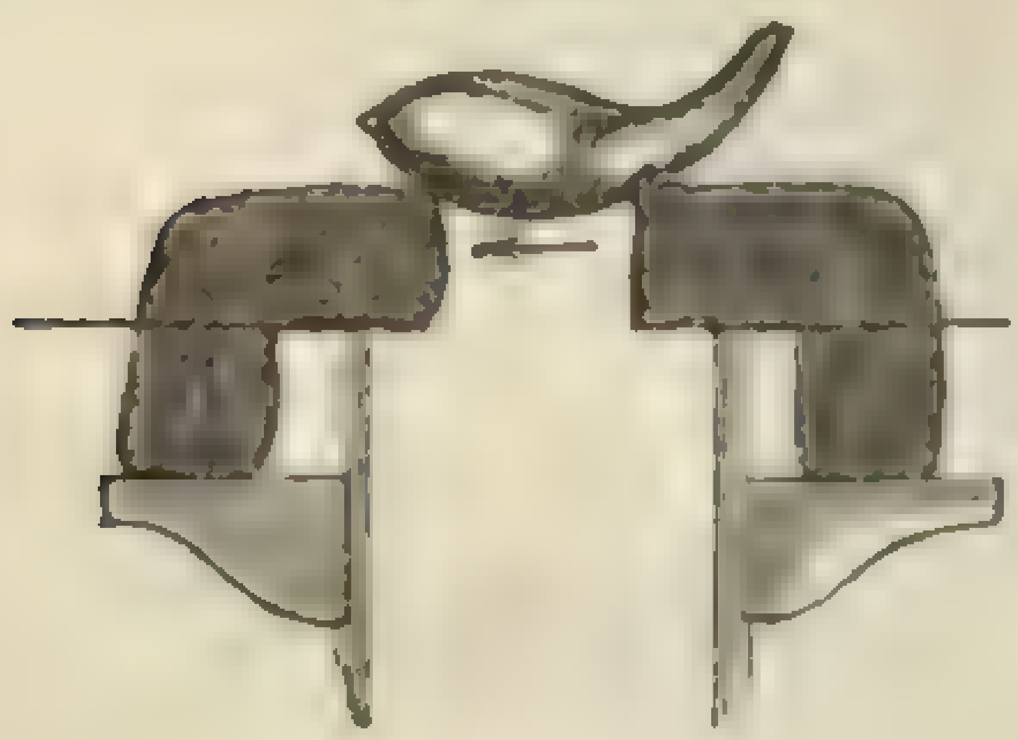
Fig. 403.



Näheres über die bei diesen Versuchen zu beobachtenden Vorsichtsmaßregeln findet man ausführlich in Du Bois-Reymond's klassischem Werke »Untersuchungen über thierische Elektricität«, Berlin 1848 und 1849; im Auszug in meinem »Bericht über die neuesten Fortschritte der Physik«, Braunschweig 1849 — 1852.

Sind die Zuleitungsgefäße mit Bäuschen versehen, so wird der Schließungsbausch aufgelegt, damit etwaige Ungleichheiten im Polarisationszustand der Platinplatten sich ausgleichen können. Ist die Nadel wieder zur Ruhe gekommen und auf den Nullpunkt der Theilung zurückgekehrt, so wird der Schließungsbausch entfernt, die Eiweißhäutchen aufgelegt und der Zwischenraum mit dem zu prüfenden Muskel, etwa mit dem großen Wadenmuskel (Gastroknemius) des Frosches überbrückt, wie Fig. 404 andeutet. Sogleich erfolgt ein bedeutender Ausschlag der Nadel.

Fig. 404.



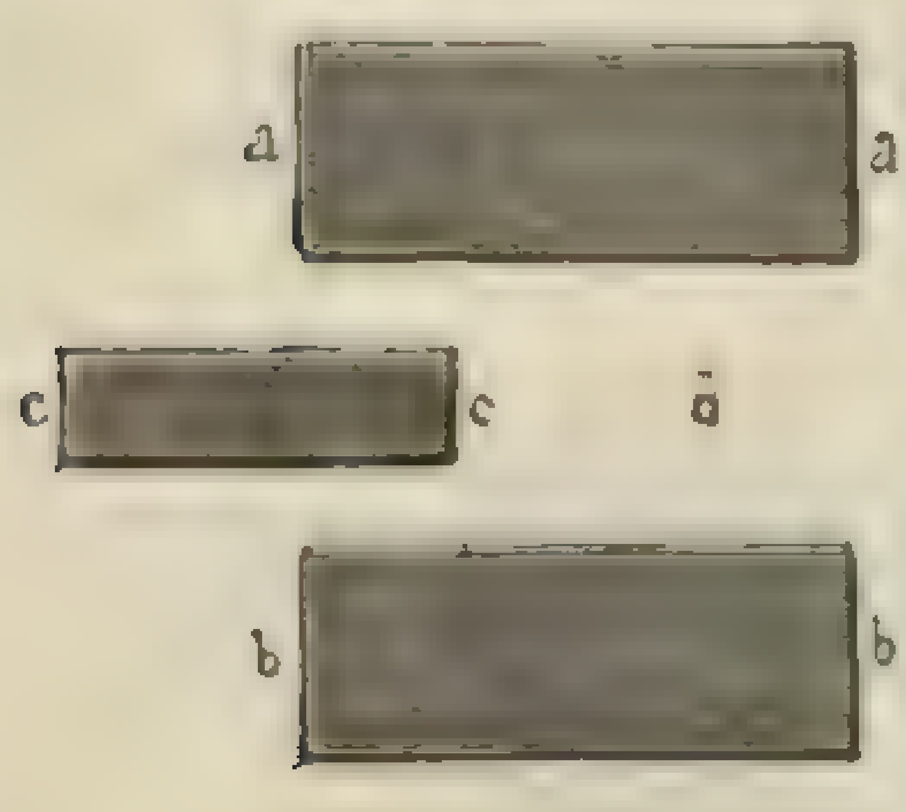
Läßt man den Muskel ruhig liegen, so bekommt die Nadel nun eine beständige Ablenkung, welche jedoch viel geringer ist, als man nach dem ersten Ausschlage zu glauben geneigt seyn möchte, weil sich in Folge des primitiven Stromes starke Ladungen auf den Platinplatten entwickeln.

Der Strom des Gastroknemius wirft bei einem guten Multiplicator die Nadel anfangs gegen die Hemmung, während die beständige Ablenkung nur 10 bis 20 Grad beträgt.

Entfernt man nun den thierischen Elektromotor wieder, so wird ein dem früheren entgegengesetzter Ausschlag erfolgen, wenn man den Schließungsbausch von Neuem auflegt. Dieser zweite Ausschlag rührt davon her, daß die Platinplatten durch den thierisch-elektrischen Strom galvanisch polarisirt worden sind und sich nun diese Ladung wieder ausgleicht.

Die Zuckung ohne Metalle kann man sehr sicher mit Hülfe der Du Bois'schen Bäusche in folgender Weise erhalten: Zwischen zwei Bäusche *a* und *b* Fig. 404 ist ein Zwischenbausch *c* auf der einen Seite so eingeschoben, daß auf der anderen Seite der ganze Zwischenraum zwischen *a* und *b* frei bleibt. Der Zwischenraum zwischen *a* und *c* wird in der angegebenen Weise durch den Gastroknemius, der zwischen *b* und *c* durch den Nerv des stromprüfenden Froschschenkels überbrückt.

Fig. 405.



Man bindet zu diesem Zwecke den stromprüfenden Froschschenkel auf eine Glasplatte fest, welche durch ein Fig. 406 abgebildetes Stativ getragen wird. Man bringt das Stativ und die Bäusche in die gehörige Nähe, um das freie Nervenende des stromprüfenden Froschschenkels bequem zwischen den Bäuschen *b* und *c* ausbreiten zu können.

Ist Alles gehörig vorbereitet, so wird die Kette geschlossen, indem man bei *d* einen Schließungsbausch auflegt, welcher *a* und *b* leitend verbindet. Ist

Fig. 406.

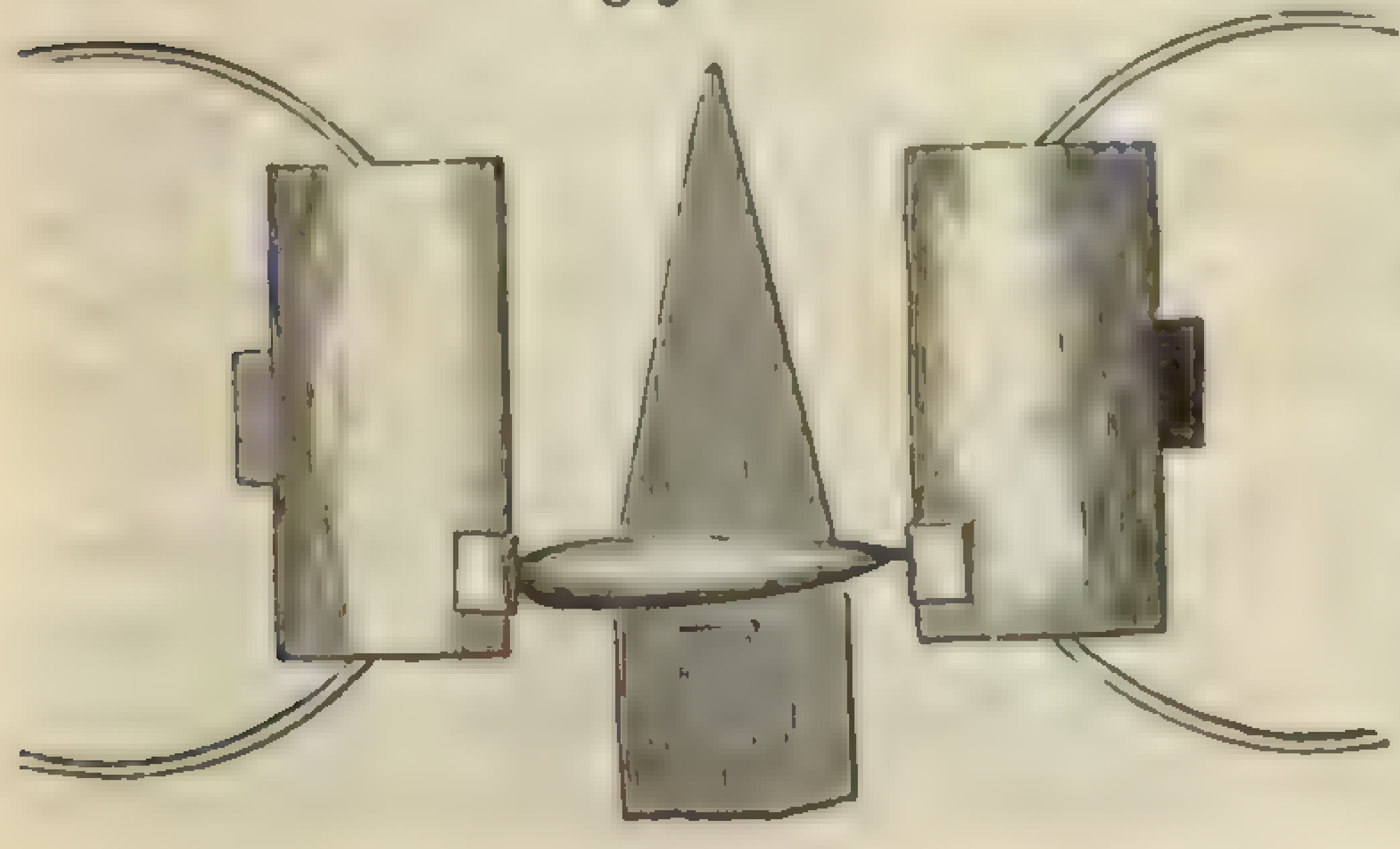


der stromprüfende Froschschenkel noch empfindlich genug, so zuckt er sowohl beim Auflegen, als auch beim Wegnehmen des Schließungsbausches; hat seine Empfindlichkeit abgenommen, so zuckt er entweder nur beim Auflegen oder nur beim Wegnehmen des Schließungsbausches.

Gesetz des Muskelstromes. Beim ganzen Frosch sowohl, wie auch beim 140
Galvani'schen Präparate geht der positive Strom im Thiere in der Richtung von den Füßen zum Kopfe. Eben so geht auch im Gastroknemius der positive Strom von dem Kopfe entfernteren Ende, der Achillessehne, zu dem Kopfende hin. Diese Uebereinstimmung ist jedoch nur zufällig. Du Bois untersuchte viele einzelne Muskeln und fand, daß selbst bei einem und demselben Muskel die Strömungsrichtung sich ändert, je nachdem man den Muskel auf verschiedene Weise auf die Bäusche legt.

Mancher Muskel, wie z. B. der Musculus semi membranosus, giebt zwar gar keinen oder doch nur einen ganz schwachen Strom, wenn er auf die Weise zwischen die Bäusche gebracht wird, wie Fig. 407 andeutet, so nämlich, daß er an beiden Seiten mit seinen sehnigen Enden die Bäusche berührt. Legt man aber denselben Muskel so auf,

Fig. 407.



daß der eine Bausch durch das rothe Muskelfleisch berührt wird, während das eine sehnige Ende des Muskels gegen den anderen Bausch anstößt, wie Fig. 408 andeutet, so erfolgt ein kräftiger Ausschlag, welcher einen Strom im Muskel vom sehnigen Ende gegen die berührte Stelle des Muskelfleisches anzeigt.

Schneidet man einen solchen Muskel mit einem scharfen Instrument quer durch und bringt man dann den Muskel in der Weise zwischen die Bäusche, wie Fig. 409 andeutet, so erhält man stets einen Strom, der im Muskel vom künstlichen Querschnitt zur natürlichen Seitenfläche des Muskels geht.

Fig. 408.

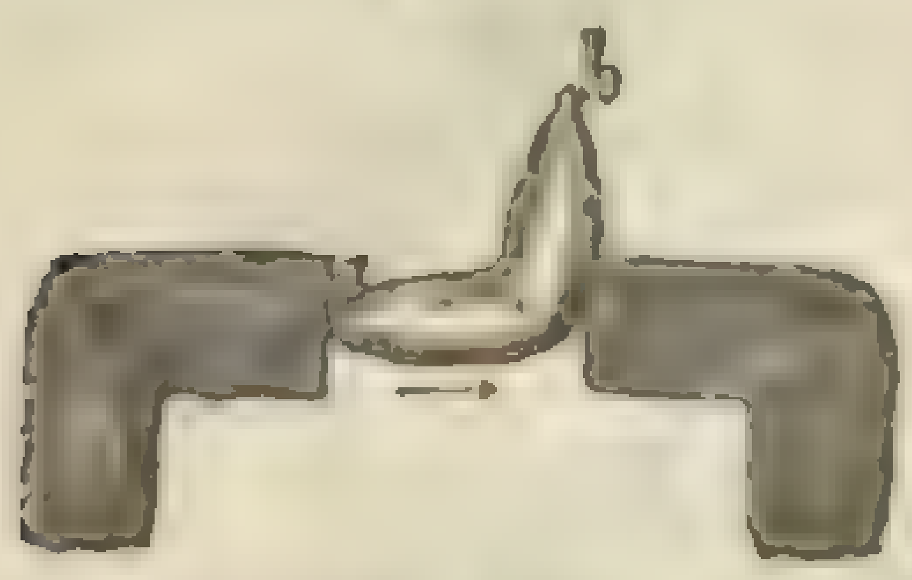


Fig. 409.



Der künstliche Querschnitt verhält sich also gerade eben so wie das sehnige Ende des Muskels, und in der That kann man das sehnige Ende als den natürlichen Querschnitt des Muskels betrachten, der mit einer neutralen leitenden Substanz, der Sehne, überzogen ist.

Zerreißt man einen Muskel in der Richtung der Muskelfasern, so erhält man einen künstlichen Längsschnitt, welcher der natürlichen Seitenfläche des Muskels entspricht, welche Du Bois deshalb auch den natürlichen Längsschnitt nennt.

Der künstliche Längsschnitt verhält sich in elektrischer Beziehung gerade so wie der natürliche.

So ist denn durch die von Du Bois angestellten Versuche dargethan, daß der natürliche oder künstliche Längsschnitt eines Muskels sich positiv verhält gegen den natürlichen oder künstlichen Querschnitt.

Das Gesetz des Muskelstromes ist nicht etwa an einzelne Thiergattungen gebunden, es ist, nach Du Bois's Versuchen, über das ganze Thierreich verbreitet. Er hat die Negativität des künstlichen Querschnittes gegen den natürlichen Längsschnitt beobachtet an Muskeln vom Menschen (Muskeln eines eben amputirten Beines), vom Kaninchen, vom Meerschweinchen, von der Hausmaus, — der Taube und dem Sperling; — der Schildkröte, Eidechse, Ringelnatter, Blindschleiche, verschiedenen Arten von Fröschen und Kröten, dem Erd- und dem Wassermolch; — vom Schley, Flußkrebs und Regenwurm. Bei letzterem wurden die ganzen Stücke des walzenförmigen Körpers ohne weiteres als Muskel aufgelegt.

Dies sind jedoch nur die gröberen Züge der von Du Bois nachgewiesenen Gesetze des Muskelstromes. Er fand ferner, daß auch zwischen zwei verschiedenen Punkten des künstlichen oder natürlichen Längsschnittes ein Strom stattfindet, wenn der eine der aufgelegten Punkte dem Ende des Muskels näher

liegt als der andere, wie dies Fig. 410 angedeutet ist, und zwar ist der näher am Ende des Längsschnittes gelegene Berührungspunkt stets negativ gegen den anderen.

Fig. 410.

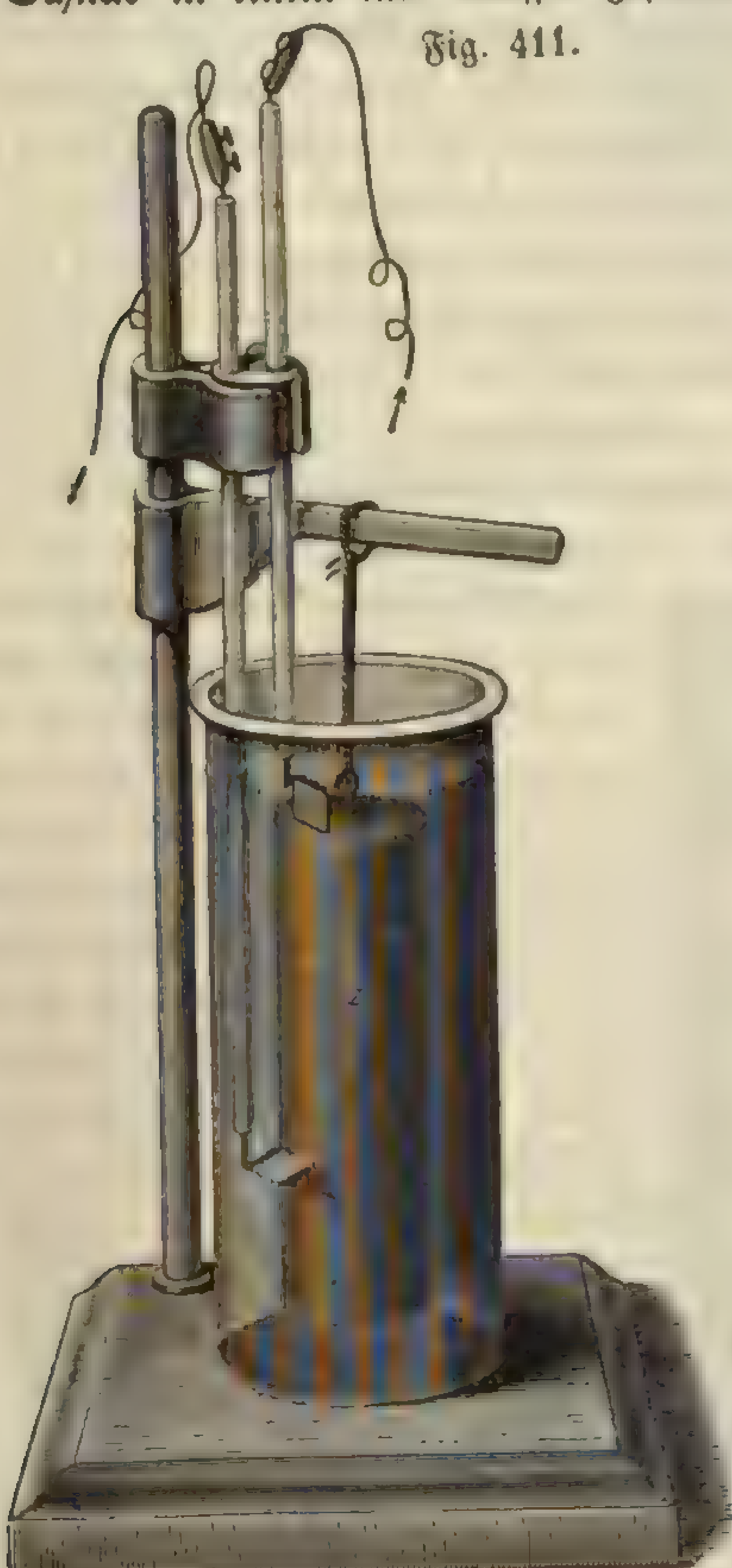


Ebenso fand er, daß die centralen Punkte des Querschnittes negativ sind gegen die mehr nach außen liegenden.

Die zwischen verschiedenen Punkten des Längsschnittes, oder zwischen verschiedenen Punkten des Querschnittes erhaltenen Ströme sind jedoch sehr schwach gegen die zwischen Längsschnitt und Querschnitt erhaltenen.

Du Bois hat folgende Vorrichtung angegeben, welche die Erscheinungen des Muskelstromes sehr treu darstellt. Ein Cylinder von Kupferblech, dessen Mantel verzinkt war, während seine Grundflächen roth blieben, hatte eine Höhe von 155^{mm} und einen Durchmesser von 55^{mm}. Das Zink an seinem Umfange war amalgamirt. Er hing mittelst eines wohlgefirnißten Hakens an einer Schnur in einem mit Wasser gefüllten cylindrischen Glase von 90^{mm} Durchmesser, Fig. 411. Der Halter, welcher den Cylinder trug, führte zugleich eine Klemme, welche einen doppelt durchbohrten Kork enthielt. In jeder Durchbohrung ließ sich ein Glasrohr auf- und niederschieben, in welches ein übersponnener Kupferdraht eingekittet war. An dem unteren Ende des Drahtes war eine quadratische Platinplatte von 15^{mm} Seite angelöthet. Es versteht sich von selbst, daß der aus dem Glasrohr hervorragende Theil des Kupferdrahtes sammt der Löthstelle hinlänglich stark mit Kitt überzogen ist, so daß das Kupfer durchaus nicht mit der Flüssigkeit in Berührung kommen kann. Die Platinplatten, welche den Zinkseiten des Cylinders gegenüber stehen sollen, haben eine horizontale Lage, während diejenigen, welche den kupfernen Grundflächen gegenüber zu stehen bestimmt sind, eine ver-

Fig. 411.



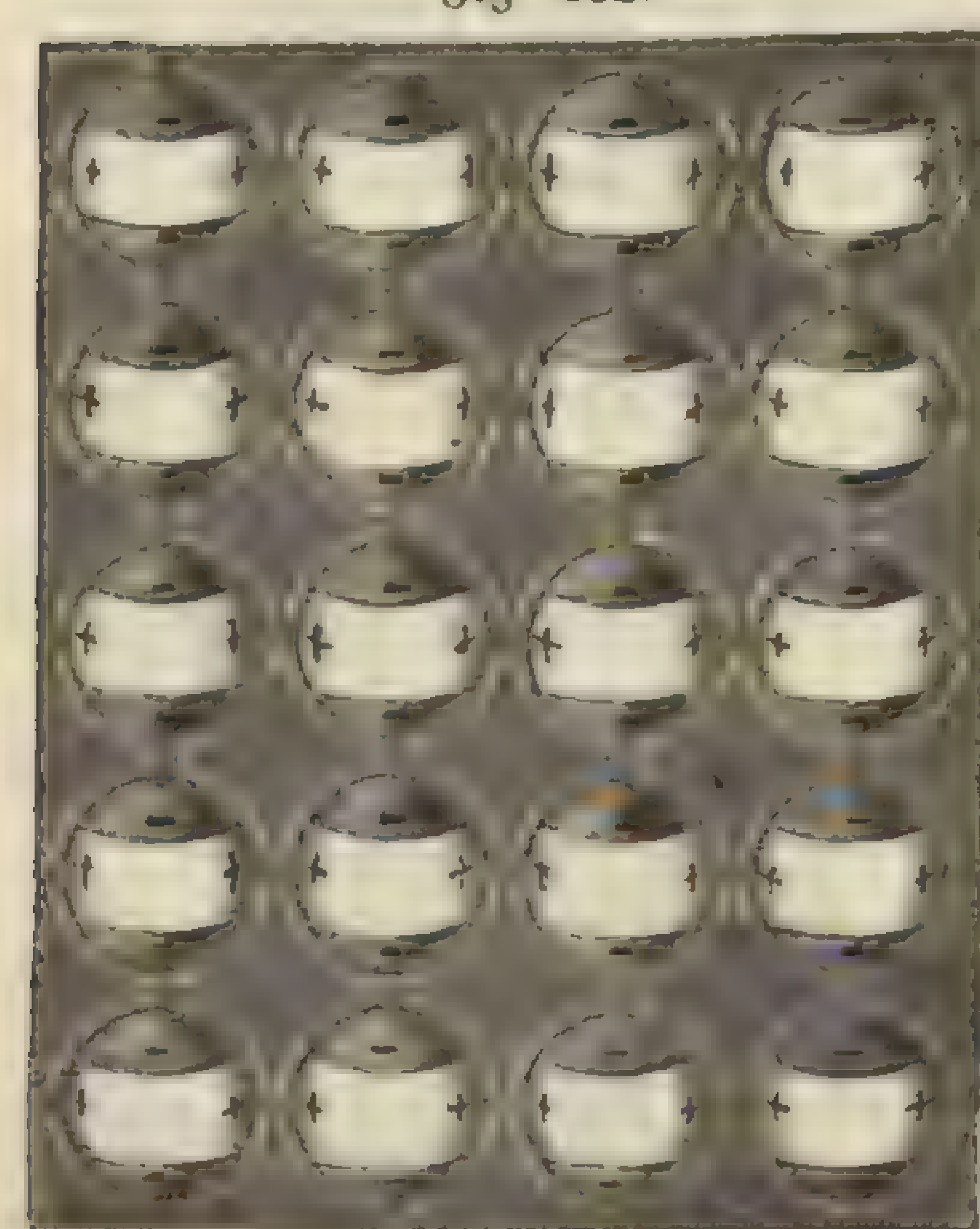
tikale Stellung haben. Die Enden der oben aus den Glasröhren hervorragenden Drähte waren mit den Enden des Multiplicatordrahtes in Verbindung gebracht.

Die in unserer Figur dargestellte Anordnung gab in der Richtung, welche durch die Pfeilchen an den Zuleitungsdrähten angedeutet ist, einen Strom, welcher einen Ausschlag der Multiplicatornadel um 15 bis 20^0 bewirkte. — Waren der Mantelfläche gegenüber zwei horizontale Platinplatten so angebracht, daß die eine eben so hoch über dem Höhenmittel des Cylinders sich befand, als die andere unter demselben angebracht war, so erhielt man gar keinen Strom; wurden die beiden Platten bei unveränderter Entfernung in die Höhe gezogen, so zeigte sich ein schwacher Strom, der im Multiplicator einen Ausschlag von 5 — 10^0 bewirkte. Eben solche schwache Ausschläge erfolgten, wenn zwei vertikal stehende Ableitungsplatten so über die obere Kupferfläche angebracht wurden, daß sie ungleich weit von der Mitte derselben abstanden, daß also die eine dem Rande des Cylinders näher war als die andere.

Nun aber giebt jedes einzelne Bruchstück eines Muskels noch Ströme und zwar stets nach demselben Gesetze; wir müssen demnach annehmen, daß der Muskel aus einer ganzen Reihe elektromotorischer Elemente bestehe, von denen jedes einzelne in der Weise wirkt, wie das Kupferzinkschema Fig. 411.

Es ist gleichgültig, welche Form man für diese elektromotorischen Muskelmolekeln annehmen will, nur müssen sie zwei negative Polar- und eine positive Aequatorialzone besitzen; ferner müssen die Axen aller einzelnen Molekeln unter sich und zwar mit der Axe des Muskelbündels parallel seyn. Denken wir uns die elektromotorischen Muskelmolekeln kugelförmig, so stellt Fig. 412 nach der oben besprochenen Annahme schematisch einen Muskellängsschnitt dar. Die negativen Polarzonen sind dunkler, die positive Aequatorialzone ist heller gehalten. Die vertikale Begränzung stellt den Längsschnitt, die horizontale stellt den Querschnitt dar, der schraffirte Grund ist unwirksamer feuchter Leiter.

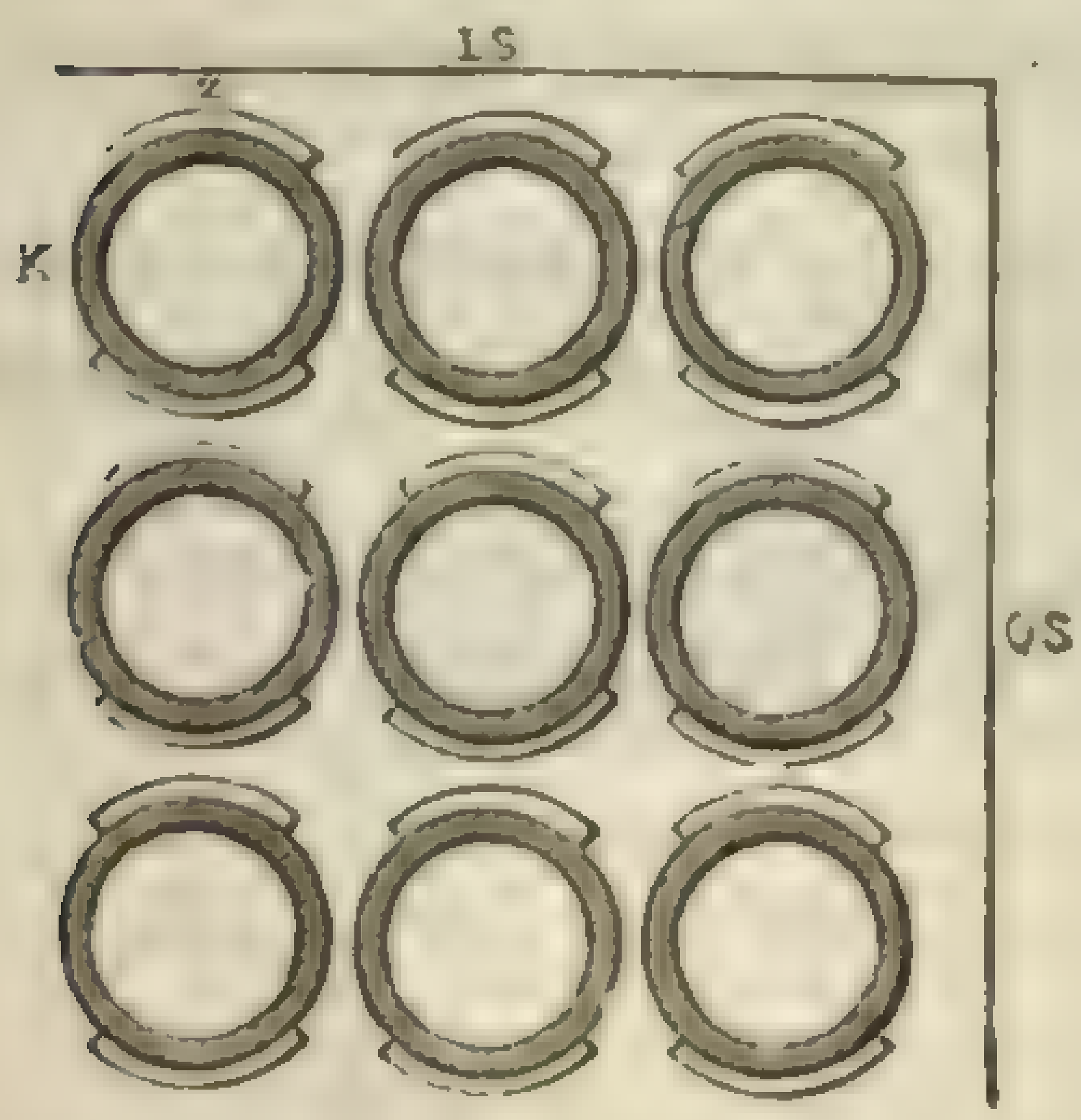
Fig. 412.



Auch diese Vorstellungsweise hat Du Bois an einem Zinkkupferschema geprüft; er ließ Röhren aus Kupferblech 11^{mm} im Durchmesser ziehen und dem Mantel derselben entlang, einander diametral entgegengesetzt, zwei Zinkstreifen von solcher Breite auflöthen, daß der Umfang der Röhren dadurch in vier gleich breite Streifen, abwechselnd von Zink und Kupfer, getheilt war. Die Röhren wurden senkrecht auf ihre Axe

in lauter 12,5mm lange Stücke geschnitten, das Zink amalgamirt, das Kupfer inwendig gefirnißt und die Elemente, 72 an der Zahl, mit ihren kreisförmigen Rändern, sämmtlich in etwa 1mm Entfernung von einander, in 6 Reihen auf ein Brettchen von 145mm Länge und 85mm Breite so aufgekittet, daß ihre Zinkseiten sämmtlich der langen, ihre Kupferseiten sämmtlich der kurzen Seite des Brettes zugekehrt waren. Fig. 413 stellt ein Stück dieser Vorrichtung im Grundriß von unten gesehen dar.

Fig. 413.



Das Brettchen, welches die 72 Elemente trug, war gefirnißt und an seiner oberen Fläche mit einem Griff versehen, mittelst dessen dasselbe in einen 182mm langen, 119mm breiten und 6mm hoch mit Wasser gefüllten Trog eingesenkt wurde. Beim Einsenken stieg natürlich das Wasser im Troge, weil die im Inneren der Röhrchen enthaltene Luft nicht entweichen konnte.

Diese Vorrichtung gab nun zwischen Längs- und Querschnitt 20° Ablenkung, und als die Ableitungsplatten vor dem Längsschnitt allein oder vor dem Querschnitt allein sich befanden, 8 bis 10° in dem durch das Gesetz des Muskelstromes geforderten Sinne.

Aus diesen Untersuchungen geht nun hervor:

1) daß der elektromotorische Muskel fortwährend als im Zustande der geschlossenen Kette befindlich zu denken ist;

2) daß jeder Strom, wie er auch von einem thierischen Erreger gewonnen sey, als durch Nebenschließung erhalten, als abgeleiteter Stromarm betrachtet werden müsse.

Abnahme und Dauer des Muskelstromes nach dem Tode. Der 141
Muskelstrom ist nach dem Tode des Thieres oder nach der Trennung des Muskels vom Gesammtorganismus in fortwährender Abnahme begriffen. Der Ermittelung des Gesetzes dieser Abnahme setzen sich große Schwierigkeiten entgegen. Nach Matteucci's Angaben zeigen Froschpräparate fünf bis sechs Stunden nach dem Tode, ja einen Tag lang in Wasser aufbewahrt, immer noch, wenn auch schwache Ströme. Am rascheſten ist die Abnahme in den ersten 8 bis 10 Minuten, so daß der Multiplicatorausschlag nach dieser Zeit nur noch halb so groß erscheint als im Anfang.

Die Abnahme des Muskelstromes nach dem Tode betreffend, hat Du Bois gefunden, daß die elektromotorische Kraft des Muskels gleichen Schritt gehe mit seiner Erregbarkeit, daß also der Muskelstrom in demselben Maaße abnehme, wie die Reizbarkeit des Muskels; ferner daß die

Todtenstarre die Gränze sey, welche dem Muskelstrome gesetzt ist. Die Erscheinung des Muskelstromes ist dadurch unmittelbar als eine nur an dem lebendigen Gewebe mögliche bezeichnet. Der wegen Todtenstarre verschwundene Strom kehrt unter keinerlei Umständen zurück. Faulende Glieder, nach Lösung der Todtenstarre, wirken nicht merklich elektromotorisch.

142 **Einfluß der Zusammenziehung auf den Muskelstrom.** Matteucci hatte bereits gefunden, daß der tetanische Zustand den Strom der Muskeln schwäche; allein er wußte diese Entdeckung nicht zu verfolgen, und huldigte später sogar der Ansicht, daß der Froschstrom während der Zusammenziehung an Größe zunehme.

Du Bois lieferte den Beweis, daß in der That während heftiger und andauernder Zusammenziehung der Strom zwar bei weitem nicht verschwindet, allein doch merklich an Intensität abnimmt.

Fig. 414 stellt die Vorrichtung dar, deren sich Du Bois bediente, um den Grundversuch dieses Gebietes anzustellen. Der Gastroknemius wird auf die

Fig. 414.



Bäusche gelegt und sein Nerv über zwei Platinschäufelchen ausgebreitet, welche in Messingstäbchen eingelassen sind. Diese Messingstäbchen gehen durch einen Klotz von Elfenbein hindurch; sie können vor- und rückwärts geschoben und

in jeder beliebigen Stellung festgestellt werden. Am hinteren Ende tragen diese Stäbchen Hülsen, in welche Drähte eingeschraubt werden können, welche die Ströme eines Inductionsapparates zuführen können. Unter den Platinschäufelchen befindet sich eine vorn dünner geschliffene Glastafel, welche in den Elfenbeinklotz eingelassen ist. Sie hat zum Zweck, die Berührung der Platinschaufeln mit den Bäuschen zu verhindern, wenn man die Vorrichtung weiter herunterrücken muß.

Sobald der Muskel auf die Bäusche gelegt wird, fliegt die Nadel gegen die Hemmung und stellt sich endlich bei 10 bis 20 Grad ruhig ein. Nachdem das Nervenende so über die Schaufeln gelegt worden ist, daß es eine Brücke zwischen denselben bildet, wird nun der Muskel dadurch tetanisirt, d. h. in Tetanus versetzt, daß man das Unterbrechungsrad dreht, welches in den Hauptstrom eines Inductionsapparates eingeschaltet ist, während die Drahtenden des Apparates Fig. 414 zu den Drahtenden des Nebendrahtes gehen. Die in diesem Nebendraht inducirten Ströme durchlaufen nun das Stück des Nerven, welches die Brücke zwischen den Platinschaufeln bildet, und dadurch eben wird der Tetanus des Muskels hervorgebracht.

Der Elektromotor, welcher durch den Hauptdraht des Inductionsapparates geschlossen wurde, war ein Grove'scher Becher, dessen Zinkzelle nur Wasser enthielt.

So lange der Muskel nicht tetanisirt war, zeigte also der Multiplicator eine bleibende Ablenkung von 10 bis 20 Grad.

Im Augenblicke aber, wo man das Rad zu drehen beginnt und der Muskel sich im Tetanus zusammenballt, schlägt die Nadel durch den Nullpunkt durch und es erfolgt ein Ausschlag derselben in den negativen Quadranten, der sich über 50° erstrecken kann. Sie schwingt dann, während man zu drehen fortfährt, um eine in dem negativen Quadranten befindliche Gleichgewichtsstellung hin und her, aber bei der Langsamkeit ihrer Bewegungen hat sie niemals Zeit, zur Ruhe zu kommen, ehe der Tetanus des Muskels erlahmt ist.

Der Uebergang der Nadel in den negativen Quadranten rührt nur daher, daß in Folge des Tetanisirens der Muskelstrom so weit abgenommen hat, daß der Ladungsstrom überwiegend wird.

Will man den Strom des tetanisirten Muskels rein haben, so muß man an irgend einer Stelle des Multiplicatorkreises ein Quecksilbernäpfchen anbringen. Unterbricht man hier die Kette durch Herausnehmen eines Zuleitungsdrahtes aus dem Quecksilber, so kann man den Muskel auf die Bäusche auflegen, ohne daß ein Strom durch den Multiplicator circulirt, und ohne daß sich eine Ladung an den Platinplatten entwickeln kann. Wird nun der Muskel tetanisirt und dann erst die Kette beim Quecksilbernäpfchen geschlossen, so erhält man den Strom des tetanisirten Muskels ganz rein, und zwar erfolgt nun der Ausschlag wirklich in dem gewöhnlichen Sinne des Muskelstromes, nur ist er ungleich schwächer als beim nicht tetanisirten Muskel.

Du Bois hat nachgewiesen, daß die Abnahme des Muskelstromes nur

daher rührt, daß die elektromotorische Kraft der Muskeln während der Zusammenziehung abnimmt.

Wenden wir als Rheoskop statt des Multiplicators den stromprüfenden Froschschenkel an, so erhalten wir ein ganz anderes Bild von der Einwirkung der Contraction auf den Muskelstrom. — Soll der Strom durch den Nerv des stromprüfenden Schenkels geleitet werden, so hat man nur den Zwischenraum zwischen den Bäuschen auf der einen Seite und dem Muskel auf der anderen mit dem Nerv des stromprüfenden Schenkels zu überbrücken. Sobald nun der Gastroknemius tetanisirt wird, geräth der stromprüfende Schenkel in fortwährend heftige Zuckungen. Es beweist dies, daß die scheinbar stetige Zusammenziehung des Muskels aus einer Reihe rasch auf einander folgender Contractionen besteht.

Dieser Versuch ist gewissermaßen eine zweckmäßigere Form der von Matteucci entdeckten secundären Zuckung, welche darin besteht, daß, wenn man den Nerv eines stromprüfenden Froschschenkels auf die Schenkel eines gewöhnlichen Froschpräparates legt, der stromprüfende Schenkel zuckt, so oft man auf irgend eine Weise das Präparat in Zuckungen versetzt, auf welchem sein Nerv liegt. Die wahre Ursache dieser Erscheinung hat Matteucci nicht erkannt.

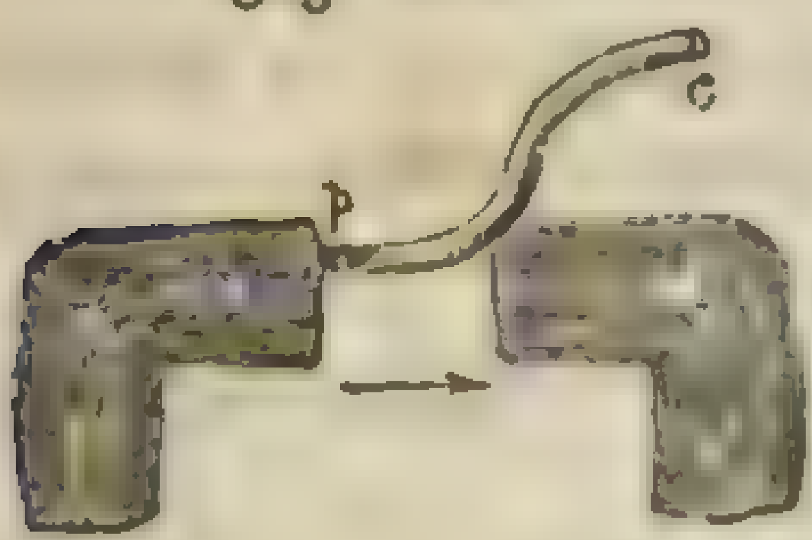
Du Bois hat nachgewiesen, daß durch die willkürliche Contraction der Muskeln der Arme eines lebenden Menschen ebenfalls eine Abnahme des Muskelstromes stattfindet. Am einfachsten läßt sich der Versuch auf folgende Weise anstellen: An die beiden Enden des Multiplicatordrahtes werden die kupfernen Handhaben einer Magnetelektrisirmaschine eingeschraubt. Sobald man sie mit den befeuchteten Händen anfaßt, verläßt die Multiplicatornadel ihre Gleichgewichtsstellung, um nach einigen Oscillationen wieder, wenn auch nicht mehr genau im Nullpunkt, zur Ruhe zu kommen. Contrahirt man nun die Muskeln des einen Arms und der einen Hand, indem man die Handhabe kräftig drückt, so sieht man sogleich die Nadel ihre neue Gleichgewichtslage verlassen, um einen Ausschlag von 10 bis 20 Grad nach der einen Seite zu machen. Zieht man jetzt, wenn die Nadel ihren Rückschwung beginnt, die Muskeln des zuerst contrahirten Arms in Ruhe lassend, die Muskeln des anderen Arms zusammen, so kann man dadurch die Nadel auf der anderen Seite noch weiter aus der Gleichgewichtslage treiben. Wechselt man auf diese Weise mit der Contraction der Arme in den gehörigen Momenten ab, so kann man bedeutende Oscillationen hervorbringen.

143 **Der Nervenstrom.** Da die Vorstellung von der Identität des Nervenagens mit der Elektricität schon eine alte und viel verbreitete ist, so ist begreiflich, daß mannigfache Bestrebungen gemacht wurden, um elektrische Wirkungen von den Nerven zu erhalten; allein erst Du Bois ist es gelungen, den Nervenstrom nachzuweisen.

Folgendes ist das Verfahren, welches er anwendete, um den Nervenstrom zu beobachten und seine Gesetze zu ermitteln.

Ein aus dem Nervus ischiadicus eines frisch getödteten Frosches soeben ausgeschnittenes Stück wird so auf die Bäusche gelegt, daß es einerseits mit dem natürlichen Längsschnitt, andererseits mit dem künstlichen Querschnitt berührt wird, wie dies Fig. 415 angedeutet ist. Auf diese Weise erfolgt ein Ausschlag, der unter Umständen 25 bis 30° betragen kann, sich aber gemeiniglich auf 15 bis 18° beläuft, und welcher ohne Ausnahme vom Punkt des natürlichen Längsschnittes durch den Multiplicatordraht zum künstlichen Querschnitt, also wie beim Muskel, gerichtet ist und eine beständige Ablenkung von 5 bis 8° zurückläßt.

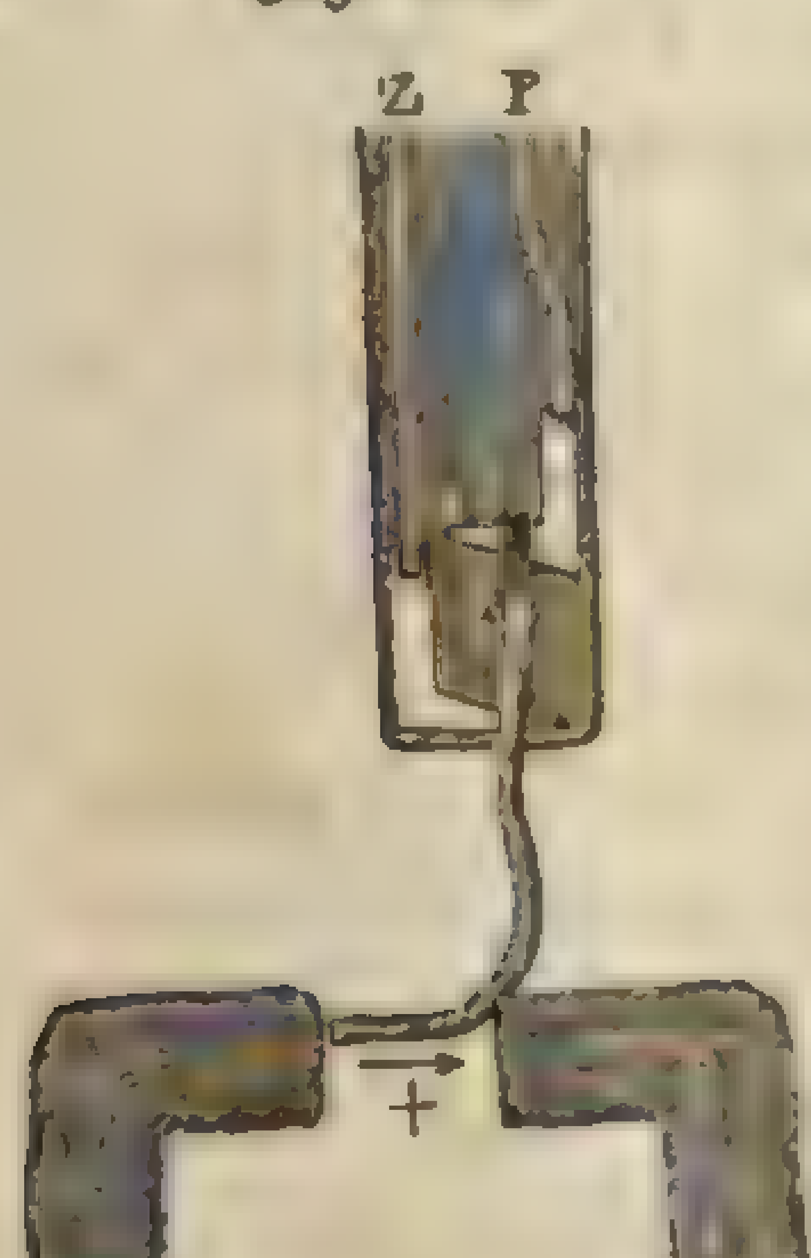
Fig. 415.



Der Nervenstrom folgt denselben Gesetzen wie der Muskelstrom, wir sind also berechtigt, alle Schlüsse, die rein physikalisch für den Muskel aus der Erscheinungsweise seines Stromes folgten, unmittelbar auf den Nerven zu übertragen und elektromotorische Molekeln in den Nerven als Erzeugerinnen des Stromes zu betrachten. Gleich den Muskeln sind demnach die Nerven fortwährend als im Zustande der geschlossenen Kette zu betrachten; wie bei den Muskeln, so ist auch jeder Strom, der von den Nerven gewonnen wird, als durch Nebenschließung erhalten, als abgeleiteter Stromarm anzusehen; endlich gilt für die Nerven wie für die Muskeln die Bemerkung, daß die Stärke des Stromes, wie er im Multiplicator sich kundgiebt, nicht das Geringste aussage über die Stärke, die dem Strom in der nächsten Nähe der ihn entwickelnden Molekeln zukommen mag.

Der elektrotonische Zustand der Nerven. Ein Nerv sey auf die 144
Bäusche und die bekannten Platinschäufelchen so aufgelegt, wie es Fig. 416 zeigt. Der Strom des zwischen den Bäuschen befindlichen Nervenstückes wird am Multiplicator eine beständige Ablenkung hervorbringen. Bringt man nun die Stäbchen, in welche die Platinschäufelchen eingelöthet sind, mit dem positiven und negativen Pole eines einfachen Grove'schen Bechers in metallische Verbindung, daß also ein constanter Strom durch das hier aufliegende Nervenstück hindurchgeht, so findet je nach der Richtung dieses Stromes eine Zunahme oder eine Abnahme des am Multiplicator beobachteten Nervenstromes Statt.

Fig. 416.



Hat der Strom der Kette in dem Nerven gleiche Richtung mit dem Nervenstrome in dem Stück Nerv, welches in dem Multiplicatorkreise begriffen ist, wie es unsere Figur andeutet, so findet anscheinend Vergrößerung des Nervenstromes Statt; es findet anscheinend Verkleinerung Statt, wenn beide Ströme in den Nerven entgegengesetzte Richtung haben.

Eine beständige Ablenkung von 8°, welche der ursprüngliche Nervenstrom hervorbrachte, erlitt im einen Falle einen bleibenden Zuwachs von 2 bis 3 Graden, im anderen Falle eine eben so große Abnahme, nachdem im Moment der Schließung der erregenden Kette natürlich ein größerer Ausschlag nach der einen oder anderen Seite erfolgt war.

Den mittelst der Platinschäufelchen durch ein Nervenstück hindurchgeleiteten Strom wollen wir den erregenden Strom nennen.

Den Zustand der Veränderung der elektromotorischen Kräfte, welche durch den erregenden Strom in dem Nerv hervorgebracht wird, nennt Du Bois den elektrotonischen Zustand des Nerven.

Von der Strecke eines im elektrotonischen Zustande befindlichen Nerven, welche Vermehrung ihres ursprünglichen Stromes zeigt, wollen wir sagen, sie sey in der positiven Phase dieses Zustandes begriffen. Die negative Phase desselben schreiben wir der Strecke zu, welche Verminderung ihres ursprünglichen Stromes zeigt.

Die Strecke des Nerven, welche auf den Bäuschen ruht, und von welcher der Nervenstrom in den Multiplicatorkreis abgeleitet wird, heiße die abgeleitete Strecke des Nerven; die auf den Platinblechen der stromzuführenden Vorrichtung liegende, welche dem erregenden Strome ausgesetzt wird, die erregte Strecke desselben.

Der elektrotonische Zustand zeigt sich um so weniger stark, je weiter die abgeleitete Strecke von der erregten ist.

Die Fortpflanzung des elektrotonischen Zustandes wird durch Unterbindung und Durchschneidung gehemmt.

Fig. 417.



Aus den besprochenen Versuchen läßt sich erwarten, daß, wenn die erregte Strecke des Nerven ungefähr in seiner Mitte liegt und seine beiden Enden abgeleitet sind, wie dies Figur 417 zeigt, man alsdann am einen Nervenende eine Zunahme des Stromes, am anderen dagegen eine Abnahme desselben beobachten werde, wenn ein constanter Strom die erregte Strecke durchläuft.

Zur Anstellung dieses Versuchs sind natürlich 2 Multiplicatoren nöthig;

ebenso ist klar, daß man ihn nur mit den Nerven von ungewöhnlich großen Fröschen anstellen kann. Du Bois fand unter den angegebenen Umständen wirklich, daß die Ablenkung des einen Multiplicators zu-, die des anderen abnahm.

Wird der Nerv nicht, wie es Fig. 416 zeigt, einerseits mit dem Querschnitt, andererseits mit dem natürlichen Längsschnitt, sondern mit zwei Stellen des natürlichen Längsschnittes auf die Bäusche gelegt, so also, daß der ursprüngliche Nervenstrom ungleich schwächer ist als im vorigen Falle, so tritt beim Schließen der erregenden Kette die fragliche Veränderung im Nervenstrom mit nicht geringerer Stärke ein, als in dem zuerst betrachteten Falle. — Rückt die abgeleitete Strecke der Mitte des ganzen Nervenstückes näher, so wird bekanntlich der Nervenstrom immer schwächer, die Veränderung des Stromes aber nimmt nicht ab, die wir eintreten sehen, wenn die über den Platinschäufelchen liegende Nervenstrecke von einem constanten Strom durchflossen wird. Wenn gerade das Mittelstück des Nerven die abgeleitete Strecke bildet, so zeigt der Multiplicator gar keinen Nervenstrom. Wir sehen aber dieses stromlose Stück sogleich elektromotorisch werden, sobald die erregte Strecke von einem Strom durchlaufen wird, und zwar ist der Strom, welchen die abgeleitete Strecke in diesem Falle liefert, im Nerv gleichgerichtet mit dem erregenden Strome.

Diese ganze Erscheinungsreihe läßt sich kurz so zusammenfassen: **Sobald irgend eine Strecke der Länge eines Nerven von einem elektrischen Strome durchflossen wird, fängt der Nerv an, abgesehen von seiner gewöhnlichen Stromentwickelung, in allen seinen Punkten elektromotorisch zu wirken und zwar in dem Sinne jenes erregenden Stromes selber.**

Die elektromotorische Thätigkeit, welche wir unter diesen Umständen am Nerven auftreten sehen, ist wesentlich verschieden von derjenigen, welche den Nervenstrom bedingt. Hier fällt der Unterschied zwischen Längs- und Querschnitt ganz weg und der Nerv wird nach Art der Volta'schen Säule elektromotorisch; zur Erklärung des elektrotonischen Zustandes müssen wir also annehmen, daß die einzelnen elektromotorischen Theilchen säulenartig geordnet sind, daß der Strom, welcher die erregte Strecke des Nerven durchläuft, eine säulenartige Polarisation in der ganzen Länge des Nerven hervorbringt.

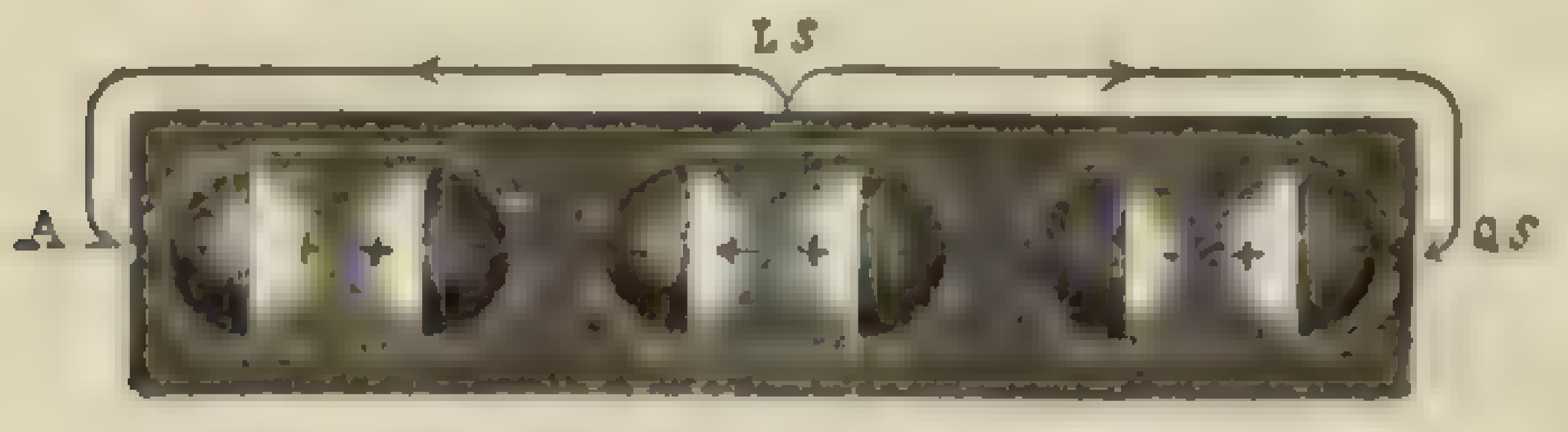
Die Anordnung der elektromotorischen Kräfte, die wir im elektrotonischen Zustande wirksam werden sehen, ist derjenigen an einer unter Wasser getauchten oder überall mit einer Schicht eines feuchten Leiters bekleideten Säule zu vergleichen. Die elektromotorischen Molekeln aber, welche gehörig geordnet, das Bild einer Säule geben sollen, müssen nothwendig dipolar seyn, einem zusammengelötheten Plattenpaare vergleichbar.

Zur Erklärung des ursprünglichen Nervenstromes haben wir aber die zur Erklärung des Muskelstromes aufgestellte, auf S. 422 besprochene Hypothese peripolarer Molekeln auf die Nerven übertragen. Es fragt sich nun, wie

sich diese Annahme mit dem Eintreten des elektrotonischen Zustandes in Zusammenhang bringen läßt?

Du Bois löst diese Schwierigkeit in folgender Weise: — Man kann sich die peripolaren Molekeln aus je zwei dipolaren zusammengesetzt und diese dann in der Weise geordnet denken, wie dies Fig. 418 zeigt. Bei dieser Anordnung der elektromotorischen Molekeln im Nerven wird derselbe den gewöhnlichen Nervenstrom zu entwickeln im Stande seyn. Beim Uebergang in den elektrotonischen Zustand trennen sich nun die beiden dipolaren Molekeln, welche vorher zu einem peripolaren verbunden waren, und die Hälfte derselben dreht sich so, daß nun die positiven Enden alle nach einer, die negativen nach der anderen Seite gerichtet sind, wie dies Fig. 419 andeutet.

Fig. 418.



Der elektrotonische Zustand bietet in mancher Beziehung Aehnlichkeit mit dem Vorgange der Innervation dar, deshalb aber darf doch die säulenartige Polarisation keineswegs für einerlei gehalten werden mit dem Bewegung und Empfindung vermittelnden Vorgange, welcher nur in dem Augenblicke des Hereinbrechens, Aufhörens, Umsetzens des Stromes stattfindet, nur durch Schwankungen der Stromdichte in den Nerven hervorgerufen wird, während der elektrotonische Zustand in gleicher Weise anhält, so lange die Kette geschlossen ist.

Fig. 419.



Schon damals, als bei Ritter und P. Ermann die ersten Grundzüge einer Theorie der Zuckungen auftauchten, machte sich die folgende Vorstellungsweise geltend: daß nämlich der Bewegung vermittelnde Vorgang, der im Augenblick der Schließung der Kette entstehe, von dem Uebergang des Nerven in einen veränderten Zustand herrühre; daß die Thätigkeit des Stromes eben darin bestehe, den Nerven in diesen veränderten Zustand zu versetzen und so lange er selber andaure, auch darin zu erhalten; daß nämlich die Oeffnungszuckung nichts sey, als die Folge des Rücktritts des Nerven aus dem veränderten Zustand in den natürlichen.

Du Bois stellt nun die Ansicht auf, daß wir in dem elektrotonischen Zustande jene dauernde Veränderung der Nerven durch den Strom wirklich erkannt haben. Wenn ein Strom auf einen Nerven wirkt, so ergeht es letzterem gleich jedem anderen feuchten Leiter. Es wird Elektrolyse eingeleitet, welche mit säulenartiger Polarisation beginnt. Der Uebergang der natürlichen zur dipolaren Anordnung bedingt jene Gleichgewichtsstörung, die als Schließungszuckung, Schließungsschmerz sich geltend macht. Die Rückkehr von der dipola-

ren zur natürlichen Anordnung ist es, welche den Oeffnungsschlag veranlaßt. Die galvanische Reizung ist uns nichts mehr, als die erste Stufe der Elektrolyse eines Nerven.

Auch hier zeigt sich wieder eine große Aehnlichkeit mit den Inductionserscheinungen. Will man nun den Vergleich der Induction mit der Nervenerregung vollends durchführen, so ist klar, daß die säulenartige Polarisation der Nerven durch den Strom, Faraday's elektrotonischem Zustande der Materie entspricht; man kann also den in diesem Paragraphen besprochenen Zustand der Nerven nicht passender bezeichnen, als wenn man ihn den **elektrotonischen Zustand der Nerven** nennt.

Verhalten des Nervenstromes beim Tetanisiren. Um die negative 145 Schwankung des Nervenstromes beim Tetanisiren nachzuweisen, muß man die Erscheinungen des elektrotonischen Zustandes zum Verschwinden bringen, was ganz einfach dadurch geschieht, daß man, statt eine Reihe gleichgerichteter Stöße anzuwenden, den Nerv durch abwechselnd gerichtete Ströme tetanisirt.

Die geeignetste Vorrichtung, um abwechselnd gerichtete Ströme in rascher Aufeinanderfolge durch ein Nervenstück hindurchzusenden, ist nun der Inductionsapparat, da ja die Schließung des Hauptstromes von einem entgegengesetzt gerichteten, die Oeffnung desselben von einem gleichgerichteten Strome im Nebendrahte, in dessen Schließungsbogen das Nervenstück eingeschaltet ist, begleitet wird.

Der Erfolg des Tetanisirens mit abwechselnden Strömen, wenn Längs- und Querschnitt auf den Bäuschen aufliegen, ist nun wirklich eine rückgängige Bewegung der Nadel nach dem Nullpunkt hin, unter günstigen Umständen bis in den negativen Quadranten hinein.

Sind beide Enden des Nerven abgeleitet, wie Fig. 417 zeigt, so machen beide Multiplicatornadeln eine rückgängige Bewegung, wenn die erregte Nervenstrecke durch abwechselnd gerichtete Ströme tetanisirt wird, während, wie wir oben sahen, bei Anwendung beständiger Ströme die eine Hälfte des Nerven in die positive, die andere in die negative Phase des elektrotonischen Zustandes tritt, also die Ablenkung der Nadel im einen Multiplicator zu-, im anderen abnimmt.

Das Ergebniß des Tetanisirens der Nerven mit abwechselnden Strömen stimmt also genau überein mit dem elektromotorischen Ergebniß der Muskelzusammenziehung.

Auch beim Tetanisiren auf nicht elektrischem Wege wies Du Bois die negative Stromesschwankung nach. Zu diesen Versuchen wendete er einen Multiplicator von 24160 Windungen an.

So ist denn der Beweis geliefert, daß das Tetanisiren der Nerven von einer Schwankung des ursprünglichen Nervenstromes in negativem Sinne begleitet ist, welche, vom elektrotonischen Zustande unabhängig, nichts Anderem

zugeschrieben werden kann, als einer Verminderung der nach Außen gerichteten elektromotorischen Kräfte des Nerven. Diese negative Stromesschwankung ist nun wohl nichts Anderes, als der elektrische Ausdruck des Bewegung und Empfindung vermittelnden Vorganges.

146 **Elektrische Fische.** Man weiß schon seit langer Zeit, daß der Zitterrochen die Eigenschaft hat, der Hand, die ihn angreift, eigenthümliche Schläge zu ertheilen. Um diese Wirkungen zu erklären, nahm man früher an, daß der Zitteraal lähmende Moleküle aussende, daß er wie eine Feder wirke, welche losgeschnellt, oder wie ein in Vibrationen befindlicher tönender Körper (Réaumur Academie des Sciences 1714). Als aber Musschenbroeck zum Erstenmale den Schlag einer Leydner Flasche verspürte, hatte er die glückliche Idee, ihn mit dem Schlage des Zitterrochens zu vergleichen und so zwei Erscheinungen, deren Ursprung ganz verschieden schien, auf eine gemeinschaftliche Ursache zurückzuführen. Nun wurde auch der Zitteraal und ähnliche Fische, die man Zitterfische genannt hatte, mit dem richtigeren Namen elektrische Fische bezeichnet.

Zu den bis jetzt genauer bekannten elektrischen Fischen gehören 1) aus der Familie der Rochen, die Zitterrochen, Torpedo narce, sive marmorata, Torpedo galvanii und Narcine brasiliensis. 2) Aus der Familie der Aale, der Zitteraal, Gymnotus electricus, der Zitterwels, Malapterurus (Silurus) electricus. Die beiden Arten von Torpedo finden sich im mittelländischen Meere und in dem atlantischen Ocean, selten in der Nordsee; die Zitteraale in den Landseen von Südamerika, besonders in Guyana, der Zitterwels im Nil, dem Niger und in anderen afrikanischen Flüssen.

Nach älteren Nachrichten sollen noch Rhinobatus electricus, Tetra odon electricus und Trichiurus electricus elektrische Eigenschaften haben, doch sind wohl diese Angaben noch als sehr problematisch anzusehen.

Die ersten einigermaßen genauen Untersuchungen über die elektrischen Wirkungen des Zitterrochens sind von Walsh angestellt worden. Er stellte seine Versuche im Jahre 1772 an.

Wenn man durch den menschlichen Körper eine leitende Verbindung zwischen dem Bauch und dem Rücken des Thieres herstellt, so erhält man eine dem Entladungsschlag der Leidener Flasche ähnliche Erschütterung. Am besten zeigt sich die Erscheinung, wenn man den Zitterrochen mit dem Bauch auf einen metallenen Teller legt, mit einer Hand den Teller und mit der andern den Rücken des Thieres berührt. Dieser Schlag ist selbst durch eine Reihe von mehreren Personen noch fühlbar, von denen die erste den Fisch am Leib, die andere am Rücken anfaßt. Die geringste Unterbrechung der Leitung im Schließungsbogen verhindert den Schlag.

Im Wasser sind die Schläge immer weniger intensiv als in der Luft, man erhält sie aber auf dieselbe Weise und unter denselben Bedingungen. Da das Wasser ein ziemlich guter Leiter ist, so begreift man, daß ein kräftiger Zitterrochen in die Ferne wirken kann, und daß es nicht mehr nöthig ist, ihn direct

zu berühren. Walsh hat in der That beobachtet, daß der Zitterrochen auf einige Entfernung hin kleine Fische erschlägt, oder wenigstens betäubt.

Wenn der Zitterrochen einen Schlag giebt, so ist es stets ein willkürlicher Act; manchmal kann man ihn mehreremal hinter einander ohne Erfolg berühren, wenn man ihn aber reizt, indem man ihn in die Floßfedern kneift, so kann man fast immer sicher seyn, verstärkte Schläge zu erhalten. Walsh hat manchmal an funfzig Entladungen in einer Minute gezählt.

J. Davy hat zuerst die Identität der Elektricität des Zitterrochens mit der Reibungs- und Berührungselektricität factisch dargethan, indem er mittelst derselben Stahlnadeln magnetisirte, die Magnetnadel ablenkte und chemische Wirkungen hervorbrachte.

Becquerel und Breschet haben mehrere interessante Beobachtungen an Zitterrochen von Chioggia nahe bei Venedig gemacht. Sie haben z. B. mit Hülfe eines guten Galvanometers dargethan, daß der positive Strom immer vom Rücken durch das Galvanometer zum Bauch geht; sie haben auch von Neuem bestätigt, daß der Zitterrochen willkürlich an den verschiedenen Stellen seines Körpers Schläge geben kann.

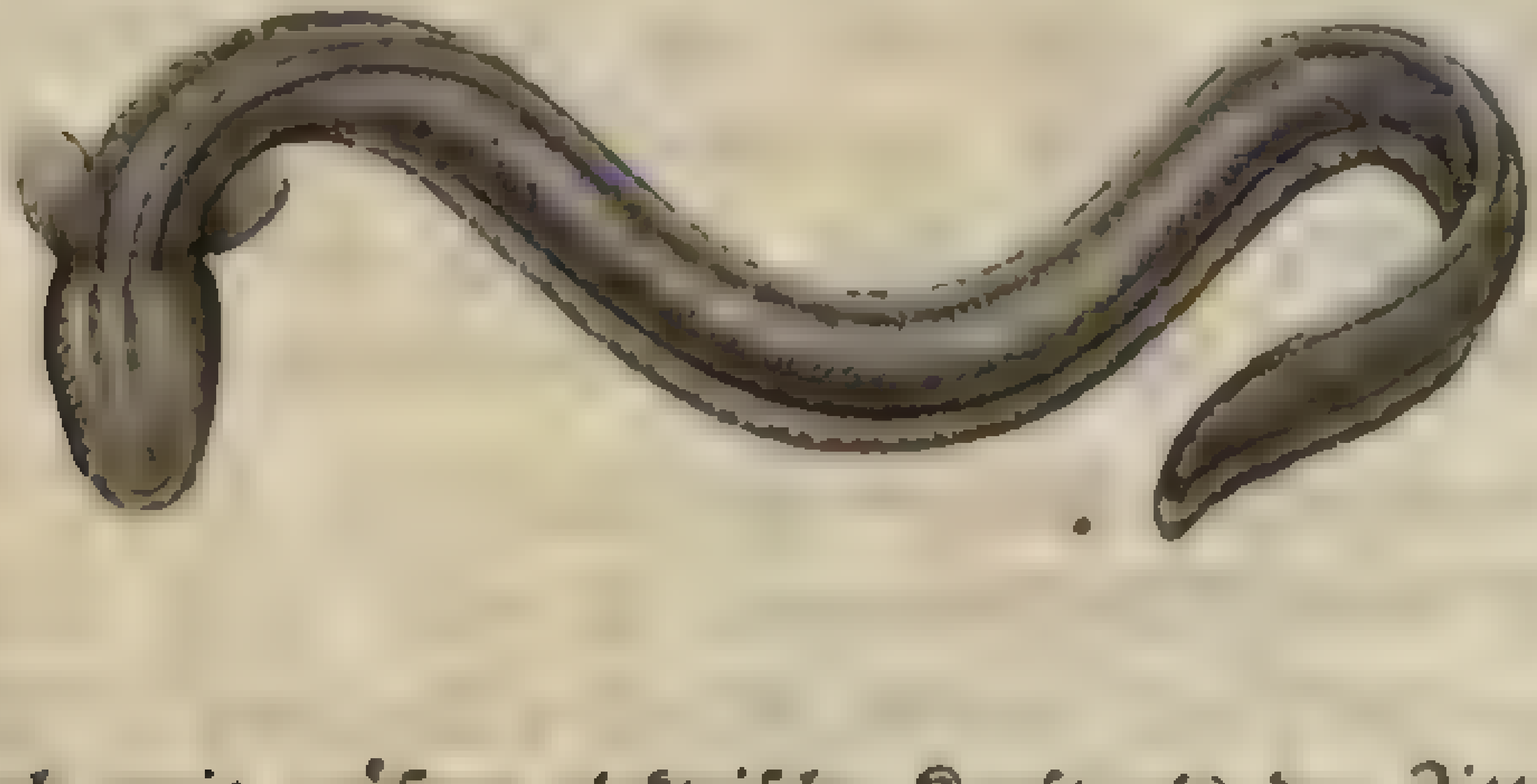
Matteucci, welcher ebenfalls interessante Versuche über die Zitterrochen des adriatischen Meeres gemacht hat, ist dahin gelangt, durch die Elektricität dieser Thiere vollkommen sichtbare Funken zu erhalten. Er applicirte zu diesem Zweck zwei metallische Armaturen, die eine auf dem Rücken, die andere auf dem Bauch des Fisches; mit jeder dieser Armaturen setzte er ein Goldblättchen in Verbindung und brachte dann die beiden Goldblättchen sehr nahe an einander; so oft nun das Thier gereizt wurde, sprang ein Funken zwischen den Goldblättchen über.

Matteucci fand auch die schon von Becquerel und Breschet gemachte Beobachtung bestätigt, daß der Rücken positiv, der Bauch negativ elektrisch ist.

Auch Linari hat in der neuesten Zeit diese Untersuchungen mit Erfolg fortgesetzt, er hat ebenfalls Funken zu gewinnen gewußt und an einem empfindlichen Condensator Zeichen elektrischer Spannung erhalten.

Der Zitteraal, Fig. 420, welcher auch der surinamische Aal genannt

Fig. 420.



wird, hat eine noch weit größere elektrische Kraft als der Zitterrochen. Walsh ließ sich Gymnoten von Surinam kommen, mit welchen er die Resultate bestätigte, die er einige Jahre vorher an dem Zitterrochen erhalten hatte; er machte aber außerdem noch die wichtige Beobachtung, daß sich der Schlag des

Zitteraals von einem Leiter zu einem anderen durch eine dünne Luftschicht hindurch fortpflanzen kann und daß man in diesem Falle einen elektrischen Funken überspringen sieht.

Humboldt hat in Amerika gemeinschaftlich mit Bonpland eine Menge Versuche mit Zitteraalen gemacht; wir wollen hier anführen, was er über die eigenthümliche Lebensart dieser Fische und über die Art sagt, wie sie gefangen werden.

»— Aber nicht die Krokodile und der Jaguar allein stellen den südamerikanischen Pferden nach; auch unter den Fischen haben sie einen gefährlichen Feind. Die Sumpfwasser von Bera und Rastro sind mit zahllosen elektrischen Aalen gefüllt, deren schleimiger, gelbgefleckter Körper aus jedem Theile die erschütternde Kraft nach Willkür aussendet. Diese Gymnoten haben 5 bis 6 Fuß Länge. Sie sind mächtig genug, die größten Thiere zu tödten, wenn sie ihre nervenreichen Organe auf einmal in günstiger Richtung entladen. Die Steppenstraße von Urituccu mußte einst verändert werden, weil sie sich in solcher Menge in einem Flüßchen angehäuft hatten, daß jährlich vor Betäubung viele Pferde in der Furt ertranken. Auch fliehen alle anderen Fische die Nähe dieser furchtbaren Aale. Selbst den Angelnden am hohen Ufer schrecken sie, wenn die feuchte Schnur ihm die Erschütterung aus der Ferne zuleitet. So bricht elektrisches Feuer tief aus dem Schooße der Gewässer aus.

»Ein malerisches Schauspiel gewährt der Fang der Gymnoten. Man jagt Maulthiere und Pferde in einen Sumpf, den die Indianer eng umzingeln, bis der ungewohnte Lärmen die muthigen Fische zum Angriffe reizt. Schlangenartig sieht man sie auf dem Wasser schwimmen und sich verschlagen unter den Bauch der Pferde drängen. Von diesen erliegen viele unter der Stärke unsichtbarer Schläge. Mit gesträubter Mähne, schnaubend, wilde Angst im funkelnden Auge, fliehen andere das tobende Ungewitter. Aber die Indianer, mit langen Bambusstäben bewaffnet, treiben sie in die Mitte der Lache zurück.

»Allmälig läßt die Wuth des ungleichen Kampfes nach. Wie entladene Wolken zerstreuen sich die ermüdeten Gymnoten. Sie bedürfen einer langen Ruhe und einer reichlichen Nahrung, um zu sammeln, was sie an galvanischer Kraft verschwendet haben. Schwächer und schwächer erschüttern nun allmälig ihre Schläge. Vom Geräusche der stampfenden Pferde erschreckt, nahen sie sich furchtsam dem Ufer, wo sie durch Harpunen verwundet und mit dürrem, nicht leitendem Holze auf die Steppe gezogen werden.

»Dies ist der wunderbare Kampf der Pferde und Fische. Was unsichtbar die lebendige Waffe dieser Wasserbewohner ist, was, durch die Berührung feuchter und ungleichartiger Theile erweckt, in allen Organen der Thiere und Pflanzen umtreibt, was die weite Himmelsdecke donnernd entflammt, was Eisen an Eisen bindet und den stillen wiederkehrenden Gang der leitenden Nadel lenkt, Alles, wie die Farbe des getheilten Lichtstrahls, fließt aus einer Quelle; Alles schmilzt in eine ewige, allverbreitende Kraft zusammen.«

Das Organ, in welchem sich die Elektricität entwickelt, hat bei den verschiedenen elektrischen Fischen im Wesentlichen dieselbe Textur, dasselbe Ansehen, obgleich seine Gestalt, seine Größe und seine Anordnung verschieden ist. Wir wollen nun versuchen, eine Idee von dem Organe des Zitterrochens zu geben, welches am genauesten untersucht worden ist.

Die Fig. 421 stellt einen Zitterrochen von oben gesehen dar, welcher auf der einen Seite geöffnet ist, so daß man das elektrische Organ sieht. Es geht vorn bis dicht an den Vorderrand des Kopfes, seine obere Fläche stößt mittelst

Fig. 421.



Fig. 422.

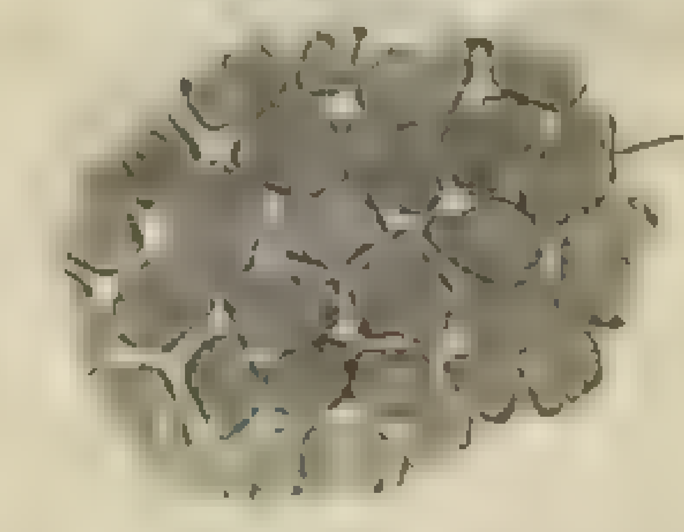


Fig. 423.



einer faserigen Haut an die Haut des Rückens, seine untere an die des Bauches, seine äußere Fläche ruht an dem Knorpel der Seitenflosse, seine innere an der Musculatur des Kopfes und des vorderen Theiles des Rumpfes. Von oben oder unten gesehen, zeigt das elektrische Organ polygonale oder rundliche Abtheilungen, Figur 422; von der Seite aber sieht man parallele Streifen, wie Fig. 423 zeigt. Das ganze Organ besteht also aus einer Menge polygonaler oder rundlicher Säulchen, deren Axe die Richtung vom Bauche zum Rücken hat. Die Randbegränzung jeder Säule bildet eine etwas dichtere sehnigte Membran, welche, wie es scheint, dieselben Dienste leistet, wie die Glasstäbe, zwischen welchen die galvanische Säule aufgebaut wird. Jedes Säulchen besteht aus einer Menge auf einander geschichteter feiner Blättchen; diese kleinen, bald ebenen, bald gebogenen Blättchen sind durch sehr klebrige Schleimschichten von einander getrennt, und somit bieten diese Säulchen in ihrer Construction eine große Aehnlichkeit mit einer aufgebauten galvanischen Säule dar.

Man zählt bei dem Zitterrochen gewöhnlich 400 bis 500 solcher Säulchen auf jeder Seite desselben; Hunter zählte deren sogar bei einem sehr großen Exemplare von $4\frac{1}{2}$ Fuß Länge 1184. Vier starke Nervenbündel, *d*, *e*, *f* und *g*, Fig. 421, vertheilen sich in das elektrische Organ.

Bei dem Zitteraal liegt das elektrische Organ in dem sehr langen Schwanze. Bei diesem Thiere nämlich liegt der After so weit nach vorn, daß der Schwanz des Gymnotus fast $4\frac{1}{2}$mal so lang ist als Kopf und Rumpf zusammenge-

nommen; das elektrische Organ liegt fast der ganzen Länge des Schwanzes nach auf jeder Seite und unterhalb desselben, so daß der elektrische Apparat dieses Thieres eine bedeutende Ausdehnung hat, woher es denn auch kommt, daß der Zitteraal so außerordentlich starke Schläge ertheilen kann.

Bei dem Gymnotus stehen die Säulchen, welche das elektrische Organ bilden, nicht senkrecht wie beim Zitterrochen, sondern sie laufen in der Richtung des Schwanzes fort, so daß die Scheibchen, aus denen sie bestehen, senkrecht stehen; daher kommt es denn auch, daß beim Zitteraal der positive Strom in der Richtung vom Kopfe nach dem Schwanze, also nicht wie beim Zitterrochen vom Rücken zum Bauche geht.

Siebenter Abschnitt.

Von der Wärme.

Erstes Kapitel.

Ausdehnung.

Unser Gefühsvermögen unterscheidet verschiedene Zustände an den Körpern, 147
die wir mit heiß, warm, kalt u. s. w. bezeichnen. Wenn ein Körper, den wir kalt nennen, warm wird, wenn er heiß wird, so nimmt er auch an Volumen zu, er dehnt sich aus.

Die unbekannte Ursache, welche diese Ausdehnung der Körper bewirkt, und welche zugleich die verschiedenen eben erwähnten Empfindungen unseres Gefühlsvermögens veranlaßt, nennt man **Wärme**.

Die Wärme bewirkt nicht allein eine Ausdehnung der Körper, sondern sie ist auch im Stande, die Aggregatzustände der Körper zu verändern, sie bewirkt die Schmelzung fester und die Verdampfung flüssiger Körper. Wir wollen nun im Folgenden die Gesetze dieser Erscheinungen näher betrachten.

Das Thermometer. Da alle Körper durch die Wärme ausgedehnt 148
werden und da das Volumen eines Körpers von dem Grade seiner Erwärmung abhängt, so kann die Ausdehnung eines Körpers dazu dienen, um den Grad seiner Erwärmung zu messen. Man nennt die **Temperatur** eines Körpers den Grad seiner Erwärmung, die Instrumente aber, welche man anwendet, um die Temperatur zu bestimmen, nennt man **Thermometer**.

Fig. 424 stellt ein **Quecksilberthermometer** dar. An dem unteren Ende einer engen Glasröhre befindet sich ein kugelförmiges oder cylindrisches Gefäß; dies Gefäß und ein Theil der Röhre ist mit Quecksilber gefüllt. Durch Erwärmung vermehrt sich das Volumen des Quecksilbers, es steigt in der Röhre, und man sagt, die Temperatur sey erhöht worden. Wenn die Kugel erkaltet, vermindert sich das Volumen des Quecksilbers wieder, das Quecksilber sinkt in der Röhre, und man sagt, die Temperatur sey gefallen.

Bei gleicher Temperatur nimmt der Gipfel der Quecksilbersäule auch stets

dieselbe Stelle in der Röhre ein. Wenn man ein anderes größeres oder kleineres Thermometer mit dem ersteren vergleicht, so werden beide mit einander

Fig. 424.



Fig. 425.



steigen und fallen; aber die absolute Größe des Steigens und Fallens kann doch sehr verschieden seyn. Wenn z. B. die beiden Kugeln gleich sind, aber die eine Röhre einen zehnmal größeren Querschnitt als die andere hat, so würde bei gleicher Temperaturerhöhung das Quecksilber in der engen Röhre zehnmal so hoch steigen als in der anderen.

Ein solches Thermometer kann nur dazu dienen, zu sehen, ob eine bestimmte Temperatur stattfindet, oder ob sie höher oder tiefer sey, je nachdem der Gipfel der Quecksilbersäule in der Röhre an einer bestimmten Stelle höher oder tiefer steht. Ein solches Instrument würde schon von einigem Nutzen für die Wissenschaft seyn; durch die Graduirung aber werden die Thermometer doch eigentlich erst brauchbare Instrumente, denn durch die Graduirung ist es möglich, die Temperaturen in Zahlen auszudrücken, sie zu vergleichen und die Gesetze der Wärme auszumitteln.

Zur Construction von Thermometern darf man natürlich nur solche Glasröhren anwenden, welche ihrer ganzen Länge nach gleich weit sind, was man daran erkennt, daß ein Quecksilberfaden den man in einer solchen Röhre hin und her laufen läßt, an allen Stellen derselben gleiche Länge hat.

Nachdem an der Röhre ein Gefäß angeblasen worden ist, wird dasselbe mit Quecksilber gefüllt. Um das Quecksilber einzufüllen, wird an das obere Ende der Röhre ein Stück einer weiteren Glasröhre angelöthet und eine genügende Menge Quecksilber in das dadurch gebildete trichterförmige Gefäß, *h* Fig. 425, gegossen. Erwärmt man nun das Gefäß *l*, so dehnt sich die darin enthaltene Luft aus und entweicht in Bläschen durch das Quecksilber in *h*. Beim Erkalten von *l* zieht sich die ausgedehnte Luft wieder zusammen, und aus *h* dringt jetzt das Quecksilber durch die enge Röhre in das Gefäß *l*, um die Stelle der durch Erwärmung ausgetriebenen Luft einzunehmen. Auf diese Weise wird ein Theil des Gefäßes *l* mit Quecksilber gefüllt. Bei abermaliger Erwärmung des Gefäßes *l* wird von Neuem ein Theil der eingeschlossenen Luft ausgetrieben; die Erwärmung wird aber jetzt so weit fortgesetzt, bis das Quecksilber in *l* in's Kochen kommt, und nun nehmen die mit Heftigkeit entweichenden Dämpfe des Quecksilbers die noch übrige Luft vollständig mit fort. Beim Erkalten verdichten sich die Dämpfe in *l*, und aus *h* sinkt nun das Quecksilber herab, um den leeren Raum in *l* auszufüllen.

Ist auf diese Weise das Gefäß *t* sammt der Röhre mit Quecksilber gefüllt und der Apparat vollständig erkaltet, so wird das überflüssige Quecksilber aus *h* ausgegossen und dann die Röhre dicht unter diesem Gefäße vor der Glasbläserlampe zu einer feinen Spitze ausgezogen.

Ehe das Thermometer verschlossen wird, muß es regulirt werden, d. h. man treibt noch so viel Quecksilber aus, wie es gerade der mittleren Temperatur entspricht, für welche das Thermometer bestimmt ist: alsdann wird es zugeschmolzen.

Das Graduiren der Thermometer besteht darin, daß man zwei fixe Punkte auf der Röhre markirt und den Zwischenraum (den Fundamentalabstand) in gleiche Theile theilt. Für die festen Punkte nimmt man in der Regel den Gefrierpunkt und den Siedepunkt des Wassers. Um den Gefrierpunkt zu bestimmen, steckt man die Thermometerkugel und die Röhre, soweit das Quecksilber in derselben reicht, in ein Gefäß mit fein gestoßenem Eise oder Schnee, Fig. 426. Wenn die Temperatur der Umgebung höher ist als der Gefrierpunkt, so schmilzt das Eis, und die ganze Masse nimmt die fixe Temperatur des Gefrierpunktes an. Bald nimmt auch das Thermometer diese Temperatur an und bleibt nun vollkommen stationär; man hat alsdann nur mit Genauigkeit den Punkt der Röhre zu markiren, wo gerade der Gipfel der Quecksilbersäule steht. Man bezeichnet diesen Punkt zuerst mit Tinte und alsdann mit einem Diamant.

Fig. 426.

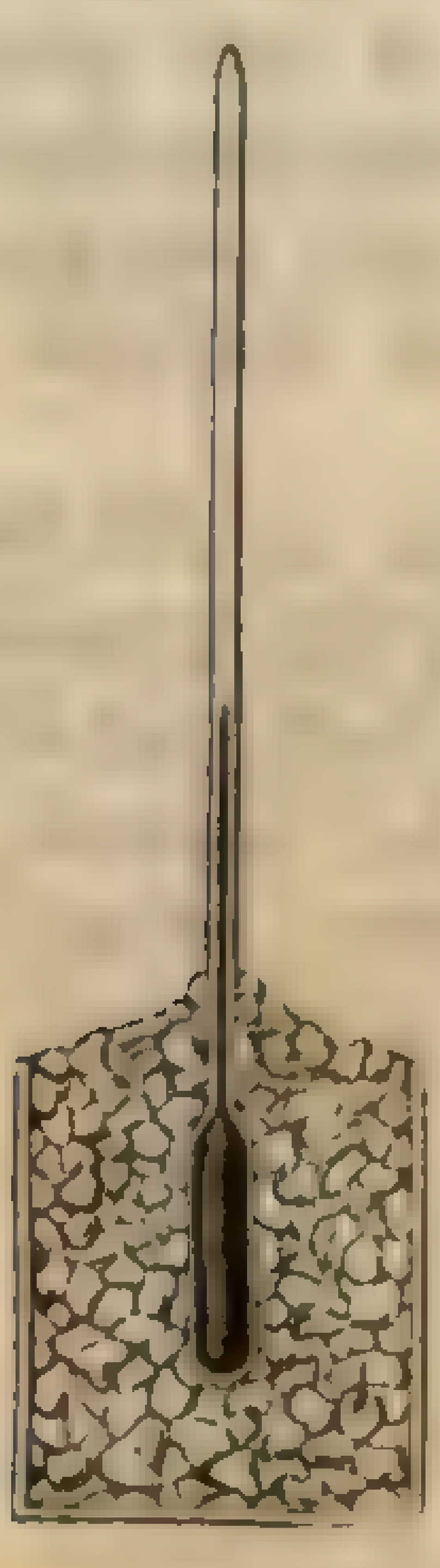


Fig. 427.



Um den Siedepunkt zu bestimmen, nimmt man ein Gefäß mit langem Halse, Fig. 427, in welchem man destillirtes Wasser zum Kochen bringt; nachdem es einige Zeit gekocht hat, sind alle Theile des Gefäßes gleichmäßig erwärmt und der Dampf entweicht durch die Seitenöffnungen; das Thermometer ist alsdann allenthalben von Dampf umgeben, dessen Temperatur dieselbe ist wie die der obersten Wasserschicht. Das Quecksilber steigt bald bis zu einem Punkte, auf dem es fest stehen bleibt und den es nicht überschreitet. Man bezeichnet diesen Punkt wie den Gefrierpunkt. Wenn in diesem Augenblicke die Barometerhöhe

nicht gerade 760 Millimeter ist, so ist eine Correction anzubringen, deren Werth weiter unten, wo vom Sieden die Rede seyn wird, angegeben werden soll.

Bei dem Centesimalthermometer wird der Zwischenraum der beiden fixen Punkte in 100 Theile getheilt, und so erhält man die Thermometerscala.

Alle Thermometer, welche auf diese Weise construirt sind, sind vergleichbare Instrumente, d. h. sie zeigen bei gleichen Temperaturen eine gleiche Zahl von Graden.

Man kann Quecksilberthermometer construiren, welche bis zu 360 dieser Grade gehen, weiter aber nicht, weil man sonst dem Siedepunkte des Quecksilbers (400°) zu nahe kommt. Unter Null sind die Angaben des Quecksilberthermometers richtig bis — 30° oder — 35°. Bei noch geringerer Temperatur kommt man dem Gefrierpunkte des Quecksilbers (— 40°) zu nahe. In der Nähe der Temperaturen nämlich, bei welchen die Körper ihren Aggregatzustand ändern, ist ihre Ausdehnung nicht mehr regelmäßig.

Man hat beobachtet, daß bei vielen Thermometern der Nullpunkt mit der Zeit steigt, als ob die Kugel kleiner geworden wäre. Man hat dies besonders bei solchen Thermometern bemerkt, bei welchen über der Quecksilbersäule sich ein leerer Raum befindet. Die Ursache dieser Verrückung des Nullpunkts ist demnach wahrscheinlich der Druck der äußeren Luft, dem von innen kein Gegendruck entgegenwirkt, und der demnach die Kugel bis zu einer gewissen Gränze zusammendrückt. Es ist deshalb zu rathen, die Thermometer, nachdem man sie zugeschmolzen hat, einige Monate liegen zu lassen, bevor man sie graduirt. Auch darf man nicht versäumen, von Zeit zu Zeit die Richtigkeit des Nullpunkts zu prüfen.

Nicht bei allen Thermometern ist der Fundamentalbestand in 100 Grade getheilt. In Deutschland und Frankreich ist das Réaumur'sche Thermometer noch sehr verbreitet, bei welchem dieser Abstand in 80 Grade getheilt ist, obgleich man sich bei wissenschaftlichen Untersuchungen jetzt fast allgemein des von Celsius zuerst angegebenen hunderttheiligen Thermometers bedient. Es ist jedoch leicht, Celsius'sche Grade auf Réaumur'sche zu reduciren, und umgekehrt; denn da

$$100^0 \text{ C.} = 80^0 \text{ R.},$$

so ist

$$1^0 \text{ C.} = 0{,}8^0 \text{ R.}$$

und

$$1^0 \text{ R.} = 1{,}25^0 \text{ C.}$$

Es sind demnach x^0 C. $= x \,.\, 0{,}8^0$ R. und n^0 R. $= n \,.\, 1{,}25^0$ C. Man kann dies in Worten so ausdrücken: Um Réaumur'sche Grade in Celsius'sche zu verwandeln, multiplicirt man die Zahl der Réaumur'schen Grade mit 1,25 oder mit $^5/_4$. Will man umgekehrt Celsius'sche Grade in Réaumur'sche verwandeln, so multiplicirt man die gegebene Gradzahl mit 0,8 oder, was dasselbe ist, mit $^4/_5$.

In England bedient man sich ausschließlich der Fahrenheit'schen Scala,

deren Nullpunkt nicht mit dem der beiden eben erwähnten zusammenfällt. Der Nullpunkt des Fahrenheit'schen Thermometers trifft mit dem Theilstriche — $17^7/_9$ der Celsius'schen Scala zusammen. Der Schmelzpunkt des Eises ist auf derselben mit 32, der Siedepunkt des Wassers mit 212 bezeichnet, so daß also der Zwischenraum zwischen dem Gefrierpunkte und dem Siedepunkte des Wassers hier in 180 Grade getheilt ist. Es sind also dem absoluten Werthe nach

$$180^0 \text{ F.} = 100^0 \text{ C.},$$

mithin

$$1^0 \text{ F.} = {}^5/_9{}^0 \text{ C.}$$

und

$$1^0 \text{ C.} = {}^9/_5{}^0 \text{ F.}$$

Um jedoch die Angaben des einen dieser Thermometer auf die des anderen zu reduciren, hat man noch zu berücksichtigen, daß die Nullpunkte derselben nicht zusammenfallen. Will man Fahrenheit'sche Grade in Celsius'sche verwandeln, so hat man von der gegebenen Gradzahl 32 abzuziehen und den Rest mit $^5/_9$ zu multipliciren. Es sind demnach

$$x^0 \text{ F.} = (x - 32)\ {}^5/_9{}^0 \text{ C.}$$

Will man Celsius'sche Grade in Fahrenheit'sche verwandeln, so multiplicirt man mit $^9/_5$ und addirt zum Product 32. Es sind demnach

$$y^0 \text{ C.} = (y \cdot {}^9/_5 + 32)^0 \text{ F.}$$

Zur leichteren Vergleichung der verschiedenen Scalen mag folgende Tabelle dienen:

Celsius.	Réaumur.	Fahrenheit.
— 20	— 16	— 4
— 10	— 8	+ 14
0	0	32
+ 10	+ 8	50
20	16	68
30	24	86
40	32	104
50	40	122
60	48	140
70	56	158
80	64	176
90	72	194
100	80	212

149 **Formeln für die Ausdehnung.** Wenn ein fester Körper sich ausdehnt, so können wir unmittelbar nur die Vergrößerung seiner Längendimensionen, seine lineare Ausdehnung messen. Wenn eine Eisenstange bei 0° eine Länge von 2^m hat, so wird die Länge dieses Stabes, wenn er bis zu 100° erwärmt wird, 2,0024^m werden; der Stab ist also um 2,4^{mm} länger geworden. Die Längenausdehnung, welche der Stab durch eine Temperaturerhöhung von 100° erlitten hat, verhält sich also zu seiner ursprünglichen Länge bei 0° wie 0,0024 : 2, oder wie 0,0012 : 1, d. h. der Stab hat sich um $\frac{12}{10000}$ seiner ursprünglichen Länge ausgedehnt. Die Zahl, welche angiebt, um den wievielten Theil seiner Länge (bei 0°) sich ein fester Körper ausdehnt, wenn er bis 100° erwärmt wird, nennt man den Ausdehnungscoëfficienten. Man findet diesen Coëfficienten, wenn man die Größe der Ausdehnung, welche ein Körper bei einer Temperaturerhöhung von 0° bis 100° erleidet, durch seine ursprüngliche Länge bei 0° dividirt. Bezeichnet also l diese ursprüngliche Länge, b die Größe der Ausdehnung, so ist der Ausdehnungscoëfficient

$$r = \frac{b}{l}.$$

Jeder feste Körper hat einen besonderen, ihm eigenthümlichen Ausdehnungscoëfficienten.

Wie die Erfahrung lehrt, dehnen sich fast alle festen Körper, wenigstens innerhalb der Gränzen von 0° bis 100°, regelmäßig aus, d. h. ihre Ausdehnung ist der Zunahme der Temperatur proportional. Wir haben z. B. gesehen, daß sich eine Eisenstange, welche bei 0° zwei Meter lang ist, um 2,4^{mm} ausdehnt, wenn man sie bis auf 100° erwärmt; wenn man sie aber nur auf 50° erwärmt, so dehnt sie sich auch nur um die Hälfte, also um 1,2^{mm} aus. Bei einer Temperaturerhöhung von 10°, von 1° dehnt sie sich demnach auch nur um 0,24^{mm}, um 0,024^{mm} aus. Wenn allgemein b die Ausdehnung eines Körpers für eine Temperaturerhöhung von 0° bis 100° ist, so ist $\frac{b}{100}$ die Ausdehnung, welche einer Temperaturerhöhung von 0° bis 1° entspricht, und wenn r der Ausdehnungscoëfficient für eine Temperaturerhöhung von 100° ist, so ist der Ausdehnungscoëfficient für eine Temperaturerhöhung von 1° gleich $\frac{r}{100}$. Bezeichnen wir mit l die Länge eines Körpers bei 0°, so ist seine Länge bei 1° gleich $l + \frac{r}{100} l$ oder $l(1 + \frac{r}{100})$. Bei einer Temperatur von t° aber ist seine Länge

$$l' = l\,(1 + \frac{r}{100} t).$$

Wenn drei der vier Größen l, l', r und t gegeben sind, so kann man die vierte berechnen.

150 **Die kubische Ausdehnung** ist die Vergrößerung, welche das Volumen eines Körpers durch die Temperaturerhöhung erleidet. Auch hier wird das

Volumen des Körpers bei 0° zum Ausgangspunkte genommen, und unter dem Ausdehnungscoëfficienten versteht man hier die Zahl, welche angiebt, um den wievielsten Theil seines ursprünglichen Volumens bei 0° sich ein Körper ausdehnt, wenn man ihn bis auf 100° erwärmt. Wenn man sagt, der Ausdehnungscoëfficient des Quecksilbers sey 0,018, so heißt das, das Quecksilber dehnt sich bei einer Temperaturerhöhung von 100° um $\frac{18}{1000}$ seines Volumens bei 0° aus. Kennt man den Ausdehnungscoëfficienten und das Volumen eines Körpers bei 0°, so kann man sein Volumen für eine Temperatur von t° auf dieselbe Weise berechnen, wie dies bei der Längenausdehnung der festen Körper gezeigt wurde, vorausgesetzt, daß die Ausdehnung des Körpers regelmäßig ist.

Bei tropfbar-flüssigen und gasförmigen Körpern wird durch den Versuch unmittelbar die körperliche Ausdehnung bestimmt, während bei festen Körpern die körperliche Ausdehnung aus der beobachteten linearen berechnet werden muß.

Der Ausdehnungscoëfficient für die körperliche Ausdehnung fester Körper ist dreimal so groß als der Ausdehnungscoefficient für die lineare Ausdehnung.

Man kann sich davon durch folgendes Raisonnement überzeugen. Es sey l die Seite eines Würfels bei 0°, so ist l^3 das Volumen desselben, welches wir mit v bezeichnen wollen; wenn nun der Würfel bis auf 100° erwärmt wird, so ist jede Seite $l\,(1 + r)$, mithin ist jetzt der Inhalt des Würfels:

$$v' = l^3\,(1 + r)^3 = l^3\,(1 + 3r + 3r^2 + r^3).$$

Da aber r eine sehr kleine Größe ist, so kann man die höheren Potenzen derselben vernachlässigen, und der Werth von v' reducirt sich demnach auf

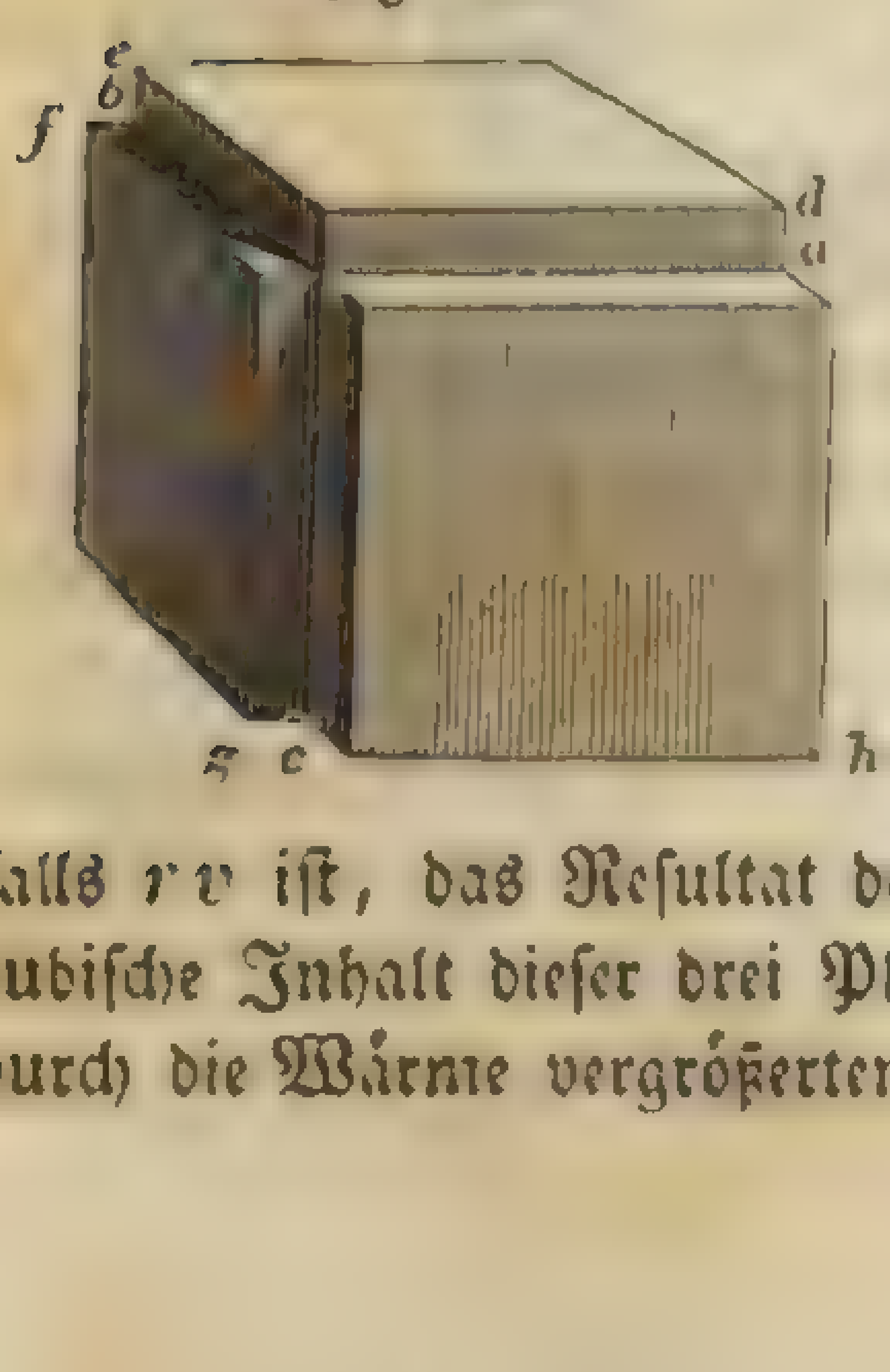
$$v' = l^3\,(1 + 3r) = v\,(1 + 3r).$$

Das Volumen v ist also um $3\,r\,v$ gewachsen; der Ausdehnungscoëfficient für das Volumen ist also $3r$.

Wir wollen versuchen, dies noch auf geometrischem Wege anschaulich zu machen.

Es sey abc, Fig. 428, ein aus irgend einem festen Körper gebildeter Würfel bei 0°. Wenn nun dieser Würfel bei einer Temperaturerhöhung von 100° sich nur nach oben ausdehnte, so würde sein Volumen um die quadratische Platte $adeb$ zunehmen, deren Inhalt vr ist, wenn v das Volumen des ursprünglichen Würfels und r der Längen-Ausdehnungscoëfficient ist. Wenn sich der Würfel nur nach der linken Seite hin ausdehnte, so würde er hier um eine eben so große Platte $cgbf$ wachsen, und eine dritte Platte $aihc$ endlich, deren Inhalt gleichfalls rv ist, das Resultat der Ausdehnung der Körper nach vorn seyn. Der kubische Inhalt dieser drei Platten zusammen ist $3\,rv$. Zur Vollendung des durch die Wärme vergrößerten Würfels müßte freilich noch der Inhalt der Ecken

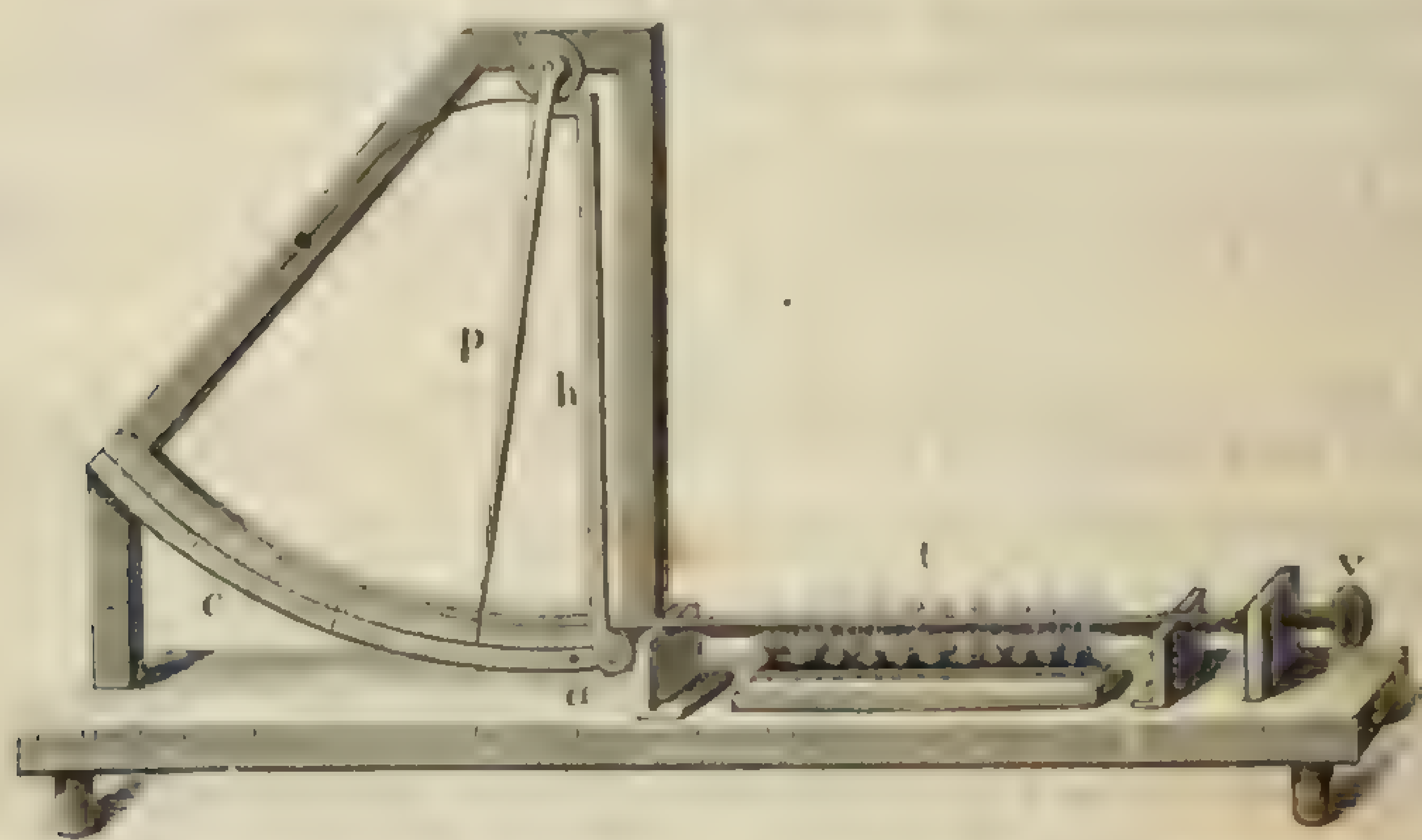
Fig. 428.



hinzuaddirt werden, welche da einzupassen sind, wo je zwei der eben betrachteten Platten mit einer Kante zusammentreffen; allein die Größe derselben ist so unbedeutend, daß sie vernachlässigt werden kann, da ja die Größe der linearen Ausdehnung da sehr klein ist im Vergleich zu der Länge der Seiten des ursprünglichen Würfels, und man kann also $3\ rv$ ohne merklichen Fehler für die ganze Zunahme des Volumens ansehen.

151 **Ausdehnung fester Körper.** Weil die Ausdehnung fester Körper durch die Wärme sehr gering ist, so muß man auf Mittel sinnen, durch welche sie dem Auge vergrößert wird. Dies geschieht z. B. beim Hebelpyrometer, Fig. 429. Die Stange l, deren Ausdehnung man beobachten will, steht mit

Fig. 429.



ihrem einen Ende gegen die feste Schraube v an; das andere Ende des Stabes steht aber an einem Hebel h und zwar nahe an seinem Drehpunkte an, so daß das obere Ende dieses Hebels h schon einen ziemlich bedeutenden Weg zurücklegt, wenn sich die Stange l auch nur wenig ausdehnt. Die Bewegung des oberen Endes von h wird aber in gleicher Weise noch einmal durch den Hebel p vergrößert, dessen freies Ende sich an einem Gradbogen ca hin bewegt.

Wenn sich beim Erkalten die Stange l wieder zusammenzieht, so werden die Hebel durch eine schwache Feder wieder zurückgedrückt.

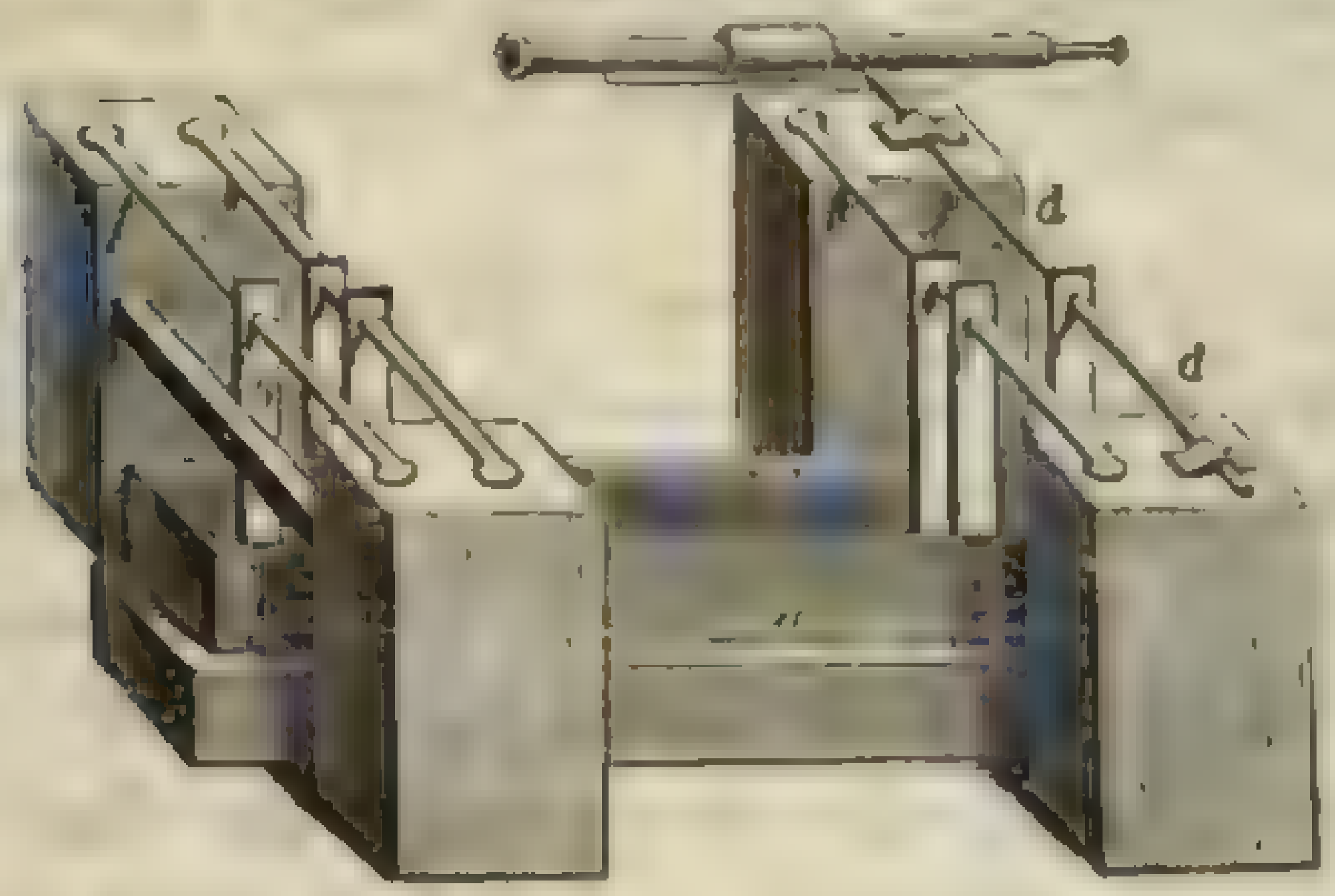
Die größte Schwierigkeit hierbei ist, daß man nicht leicht die feste Widerlage und die Drehungsaxe a vollkommen unverrückbar machen kann; denn der Abstand derselben muß durchaus unverändert bleiben, wenn die Resultate genau sein sollen. Wenn der Punkt a und die Widerlage Theile derselben Unterlage ausmachen, so wird sich diese selbst bei einer Temperaturerhöhung ausdehnen und der fragliche Abstand größer werden.

Diese Fehlerquelle ist auf eine äußerst sinnreiche Weise in dem Apparate vermieden, dessen sich Lavoisier und Laplace bedienten, um die Ausdehnung fester Körper zu bestimmen.

Eine aus dem zu prüfenden Material verfertigte Stange a, Fig. 430, lag

horizontal auf gläsernen Stäben, über welche sie frei hingleiten konnte. Als Widerhalt für das eine Ende dieses Stabes diente ein verticaler gläserner Stab *b*, der an einem horizontalen eisernen Querstabe hing, dessen Enden in zwei große in den Boden eingesenkte massive Pfeiler von Stein eingekittet waren. Das andere Ende des Stabes *a* war in unmittelbarer Berührung mit einem ähnlichen gläsernen Stabe *c*, der von einem um seine Axe leicht drehbaren Stabe *d* getragen wurde. An der Verlängerung dieser Stange war ein auf eine weit entfernte Scala gerichtetes Fernrohr befestigt. Hier ist der Glasstab *c* der kürzere, die nach der Scala gerichtete Visirlinie aber der längere Hebelarm. Wenn durch die Ausdehnung der Stange *a* das untere Ende der Stange *c* auch nur unbedeutend verrückt wird, so wird dadurch die Visirlinie des Fernrohrs gedreht, und man kann die kleinste Drehung auf der entfernten Scala ablesen. Eine Verrückung der Axe *d* und der festen Widerlage ist hier ganz unmöglich.

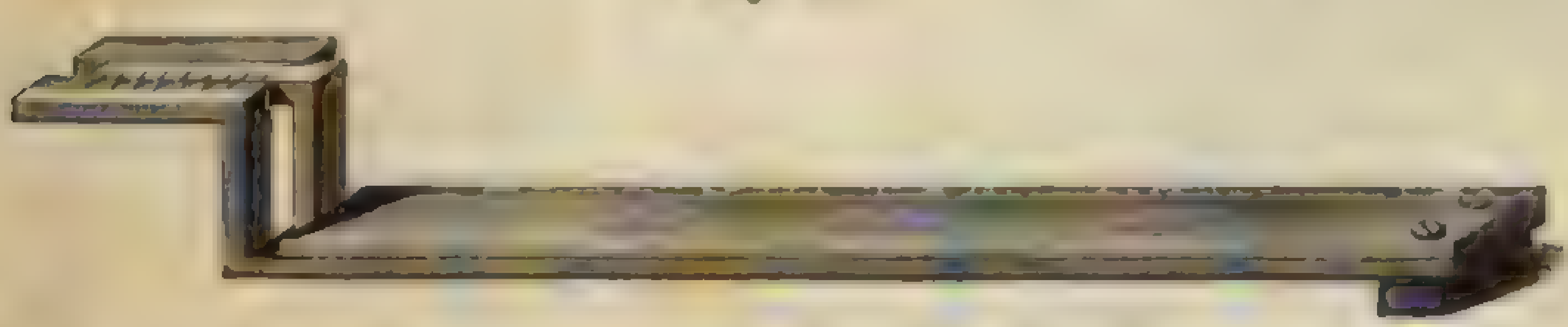
Fig. 430.



Zwischen den vier Pfeilern befindet sich ein Kasten, der mit Wasser oder mit Oel gefüllt wird, welches gehörig erhitzt werden kann, und in welches der zu untersuchende Stab eingetaucht ist.

Dulong und Petit haben wieder ein anderes Verfahren angewendet, die Ausdehnung fester Körper zu bestimmen, welches auf der Differenz zwischen der scheinbaren und absoluten Ausdehnung des Quecksilbers, wovon später noch die Rede seyn wird, beruht. Nachdem auf diese Weise die Ausdehnung des Glases und des Eisens bestimmt war, bedienten sie sich, um die Ausdehnung anderer festen Körper zu finden, des von Borda bei Gelegenheit seiner Gradmessung ersonnenen Pyrometers. Dieses Pyrometer ist Fig. 431 dargestellt.

Fig. 431.



Es besteht aus zwei Metallstäben von verschiedenem Metalle, welche ihrer Länge nach auf einander gelegt und an dem einen Ende fest verbunden sind. Am anderen Ende trägt jeder Metallstab ein Messingstück, welches zuerst vertical aufsteigt und dann horizontal umgebogen ist. Die horizontalen Arme dieser Ansatzstücke können frei aneinander hergleiten, wenn die Metallstäbe sich ungleich ausdehnen; da sie aber an der Linie, mit welcher sie zusammenstoßen, eingetheilt sind, und zwar so, daß die Theilung des einen einen Nonius für den anderen

bildet, daß also etwa 19 Theile der einen Theilung gleich 20 Abtheilungen der anderen sind, so kann man mit Hülfe dieses Nonius sehr genau die Differenz der Ausdehnung der beiden Metallstäbe ablesen. Wenn nun die Ausdehnung des einen bekannt ist, so kann man leicht mit Hülfe der eben beobachteten Differenz die Ausdehnung des anderen bestimmen. Die Stäbe, welche Dulong und Petit anwendeten, waren 12 Decimeter lang, 25 Millimeter breit und 4 Millimeter dick.

Wenn der Coëfficient für die lineare Ausdehnung eines Körpers bekannt ist, so kann man, wie schon bemerkt wurde, den Coëfficienten für die kubische Ausdehnung berechnen. Ist z. B. der Ausdehnungscoëfficient für die lineare Ausdehnung des Glases 0,000862, so ist der Coëfficient für die Vergrößerung des Volumens 0,002586. Wenn nun ein Glasgefäß erwärmt wird, so dehnt es sich aus, sein Inhalt wird größer. Die Vermehrung der Capacität des Gefäßes läßt sich leicht berechnen. Es sey z. B. der Inhalt eines Glasgefäßes bei 0° gleich 1 Liter = 1000 Kubikcent., so wird sein Inhalt bei 100° $= 1000\ (1 + 0{,}00258)^{kc}$ oder, was dasselbe ist, $1002{,}58^{kc}$, d. h. der Inhalt ist um $2^1/_2{}^{kc}$ größer geworden.

Die folgende Tabelle enthält eine Zusammenstellung der besten Beobachtungen über die Ausdehnung fester Körper.

Tabelle der linearen Ausdehnung fester Körper.

Namen der Körper.	Temperatur-Intervall	Ausdehnung in Decimalbrüchen.	Ausdehnung in gewöhnl. Brüchen.
	Nach Lavoisier und Laplace.		
Englisches Flintglas	0 bis 100°	0,00081166	1/1248
Platin (nach Borda) . . .	» » »	0,00085655	1/1167
Französisches bleihaltiges Glas .	» » »	0,00087199	1/1147
Bleifreie Glasröhren . . .	» » »	0,00087572	1/1142
» »	» » »	0,00089694	1/1115
» »	» » »	0,00089760	1/1114
» »	» » »	0,00091750	1/1090
Glas von St. Gobain . . .	» » »	0,00089089	1/1122
Stahl (nicht gehärtet)	» » »	0,00107880	1/927
» » »	» » »	0,00107915	1/927
» » »	» » »	0,00107960	1/926
Stahl (gehärtet)	» » »	0,00123956	1/807
Weiches Eisen, geschmiedet . .	» » »	0,00122045	1/819
Stabeisen	» » »	0,00123504	1/812
Gold	» » »	0,00146606	1/682
»	» » »	0,00151361	1/661
»	» » »	0,00156155	1/645
Kupfer	» » »	0,00171220	1/584
»	» » »	0,00171733	1/582

Namen der Körper.	Temperatur-Intervall.	Ausdehnung in Decimalbrüchen.	Ausdehnung in gewöhnl. Brüchen.
Kupfer	0 bis 100°	0,00172240	1/581
Messing	» » »	0,00186760	1/535
»	» » »	0,00187821	1/533
»	» » »	0,00188970	1/529
Silber	» » »	0,00190868	1/524
»	» » »	0,00190974	1/524
Zinn	» » »	0,00193765	1/516
»	» » »	0,00217298	1/462
Blei	» » »	0,00284836	1/351

Nach Smeaton:

Namen der Körper.	Temperatur-Intervall.	Ausdehnung in Decimalbrüchen.	Ausdehnung in gewöhnl. Brüchen.
Weißes Glas (Barometerröhren)	0 bis 100°	0,00083333	1/1175
Antimon	» » »	0,0010833	1/923
Stahl	» » »	0,00115000	1/870
Gehärteter Stahl	» » »	0,00122500	1/816
Eisen	» » »	0,00125833	1/795
Wismuth	» » »	0,00139167	1/719
Kupfer, gehämmert	» » »	0,00170000	1/588
Kupfer, 8 Theile mit 1 Theil Zinn	» » »	0,00181667	1/550
Messing, gegossen	» » »	0,00187500	1/533
Messingdraht	» » »	0,00193333	1/517
Spiegelmetall zu Teleskopen	» » »	0,00193333	1/517
Loth (2 Thle. Kupfer, 1 Thl. Zink)	» » »	0,00205833	1/486
Feines Zinn	» » »	0,00228333	1/438
Weiß.Loth (1 Thl. Zinn, 2 Thl. Blei)	» » »	0,00250533	1/399
Blei	» » »	0,00286667	1/349
Zink	» » »	0,00294167	1/340

Nach Roy:

Namen der Körper.	Temperatur-Intervall.	Ausdehnung in Decimalbrüchen.	Ausdehnung in gewöhnl. Brüchen.
Glas in Röhren	0 bis 100°	0,00077550	1/128
Glas, solider Stab	» » »	0,00080833	1/123
Eisen, gegossenes Prisma	» » »	0,0011100	1/901
Stahl	» » »	0,00114450	1/874
Messing von Hamburg	» » »	0,00185550	1/539
Messing, englisches	» » »	0,00189296	1/528

Nach Troughton:

Namen der Körper.	Temperatur-Intervall.	Ausdehnung in Decimalbrüchen.	Ausdehnung in gewöhnl. Brüchen.
Platin	0 bis 100°	0,00099180	1/1008
Stahl	» » »	0,00118990	1/840
Eisen (in Drahtzug gezogen)	» » »	0,00144010	1/694
Kupfer	» » »	0,00191880	1/521
Silber	» » »	0,00208260	1/480

Nach Wollaston:

Namen der Körper.	Temperatur-Intervall.	Ausdehnung in Decimalbrüchen.	Ausdehnung in gewöhnl. Brüchen.
Palladium	0 bis 100°	0,00100000	1/1000

Namen der Körper.	Temperatur-Intervall.	Ausdehnung	
		in Decimalbrüchen.	in gewöhnl. Brüchen.
Nach Dulong und Petit:			
Platin	0 bis 100°	0,00088420	1/1131
	0 bis 300°	0,00275482	1/363
Glas	0 bis 100°	0,00086133	1/1161
	0 bis 200°	0,00184502	1/454
	0 bis 300°	0,00303252	1/329
Eisen	0 bis 100°	0,00118210	1/846
	0 bis 300°	0,00440528	1/227
Kupfer	0 bis 100°	0,00171820	1/582
	0 bis 300°	0,00564972	1/177

Von 0 bis 100° ist im Allgemeinen die Ausdehnung der festen Körper regelmäßig, in höheren Temperaturen aber nimmt sie zu.

152 **Anwendung der Ausdehnung fester Körper.** Die Kraft, mit welcher sich die Körper ausdehnen, ist gleich dem Widerstande, den sie einer Compression entgegensetzen. Es sey ein Gewicht von 1000 Kilogrammen nöthig, um eine verticale Eisenstange gerade um so viel zusammenzudrücken, als sie sich bei einer Temperaturerniedrigung von 1° zusammenzieht; so ist klar, daß, wenn man die Stange mit einem Gewicht von 1000^{kg} belastet, sie aber um 1° erwärmt, sich alsdann die durch die Wärme veranlaßte Ausdehnung und die durch die Last bewirkte Compression compensiren, daß also ihre Länge unverändert bleibt. Man kann daraus schließen, mit welcher ungeheuren Kraft sich die Körper ausdehnen und zusammenziehen. Die Flüssigkeiten, welche etwas compressibel sind, sich aber stark ausdehnen, können die größten Wirkungen dieser Art hervorbringen. Wegen der Ausdehnung des Eisens darf man bei größeren Bauten, wo eine größere Zahl von Eisenstäben aneinandergereiht werden muß, z. B. bei Eisenbahnen, nicht ein Stück genau an das andere anstoßen lassen, sondern man muß sie so an einander schieben, daß noch ein kleiner Zwischenraum für die Ausdehnung bleibt. Bei Röhrenleitungen ist die Sache schwieriger; man erreicht hier den Zweck dadurch, daß man die Verbindung zweier an einander stoßenden Röhrenstücke durch Blei vermittelt.

Die Kraft, mit welcher sich die Körper beim Erkalten zusammenziehen, ist gleich dem Widerstande, den sie einer Kraft entgegensetzen, welche sie auseinander zieht. Wenn eine Kraft von 1000^{kg} nöthig ist, um eine Eisenstange so viel zu verlängern, wie dies auch durch eine Temperaturerhöhung von 1° geschieht, so ist klar, daß, wenn man an den Eisenstab eine Last von 1000^{kg} hängt und die Temperatur um 1° erniedrigt, alsdann die durch Erkaltung bewirkte

Contraction und die durch den Zug bewirkte Verlängerung sich compensiren. Wenn z. B. eine Eisenstange zwischen zwei festen Widerlagen steht, welche sie durch die Kraft ihrer Ausdehnung nicht fortrücken kann, so muß sich die Eisenstange biegen; und wenn die Enden einer Eisenstange so befestigt sind, daß sie beim Erkalten durch die Kraft, mit welcher die Zusammenziehung erfolgt, nicht genähert werden können, so muß die Stange reißen. Daher kommt es, daß beim Gießen häufig Stücke zerbrechen, wenn man bei den Formen nicht Rücksicht darauf genommen hat, daß sich das Metall beim Erkalten gehörig zusammenziehen kann.

Da alle Körper sich durch die Wärme ausdehnen, so wird ein aus einer einfachen Stange gebildetes Pendel bei höherer Temperatur länger seyn als bei niedriger, es wird im Sommer also langsamer schwingen als im Winter, und wenn ein solches Pendel zur Regulirung einer Uhr angewendet wird, so ist der Gang der Uhr von der Temperatur abhängig. Bei den Compensationspendeln, welche ihres Aussehens wegen auch Rostpendel genannt werden, ist dieser nachtheilige Einfluß der Ausdehnung vermieden. Fig. 432 stellt ein Compensationspendel dar. Es ist aus fünf Eisenstäben, nämlich den beiden Stäben AB, den beiden Stäben EF und dem Stabe KL, ferner aus vier Messingstäben, nämlich den beiden Stäben CD und den beiden Stäben GH zusammengesetzt. Die beiden Querstäbe, welche die Länge des Rostes in drei Theile theilen, sind nur an den äußeren Eisenstäben befestigt und haben Oeffnungen, durch welche alle übrigen Eisen- und Messingstäbe frei hindurchgehen. Die Gesammtlänge des Pendels ist offenbar gleich

Fig. 432.



$$AB + EF + KL - (CD + GH).$$

oder es ist

$$l_0 = l_1 - l_2,$$

wenn wir mit l_0 die Gesammtlänge des Pendels, mit l_1 die Länge $AB + EF + KL$ und mit l_2 die Länge $CD + GH$ bezeichnen.

Bei einer Temperaturerhöhung von t Graden wird die Länge des Pendels

$$l_t = l_1(1 + 0{,}0000126\, t) - l_2(1 + 0{,}0000188\, t).$$

Es ist aber $l_0 = l_t$, wenn

$$0{,}0000126\, l_1 = 0{,}0000188\, l_2,$$

wenn also

$$l_1 = \frac{188}{126}\, l_2,$$

d. h., wenn sich die Gesammtlänge der drei Eisenstäbe $AB + EF + KL$ sich zu der der zwei Mes-

singstäbe $CD + GH$ umgekehrt verhält wie der Ausdehnungscoëfficienten des Eisens zu dem des Messings.

Compensationsstreifen nennt man ein System von zwei Metallstreifen, welche sich ungleich ausdehnen und welche entweder zusammengelöthet oder zusammengenietet sind. Gesetzt, der eine Streifen sey von Zink, der andere von Eisen und das System bilde bei 20° eine gerade Linie, so wird es sich bei höherer Temperatur so biegen, daß das Zink außen ist, Fig. 433, weil sich das Zink stärker ausdehnt. Unter 20° wird sich der Streifen auf die entgegengesetzte Weise krümmen, so daß das Zink innen ist, weil sich das Zink stärker zusammenzieht. Man hat dies bei der Construction der Unruhe in Chronometern benutzt, um den Seeleuten Uhren in die Hand zu geben, welche genau genug gehen, um zur Bestimmung der geographischen Länge auf dem Meere dienen zu können.

Fig. 433.



Quadrantenthermometer, Fig. 434. Der Compensationsstreifen fgh, aus Kupfer und Stahl zusammengesetzt, ist bei f befestigt und krümmt sich über g nach h. Um eine Axe dreht sich ein Hebel, dessen kurzer Arm stets gegen den Streifen bei h angelehnt und dessen größerer Arm b mit Zähnen dd' versehen ist. Die kleinen Bewegungen, welche durch die Ausdehnung am Ende h bewirkt werden, sind auf diese Weise schon im Verhältniß der Hebelarme vergrößert. Die Zähne dd' greifen in ein kleines, um die centrale Axe drehbares Getriebe; die Nadel li endlich, welche um dieselbe Axe drehbar ist, vergrößert noch die Bewegung des Getriebes. Wenn sich der Compensationsstreifen in Folge einer Temperaturveränderung stärker krümmt, so werden dadurch die Zähne in der Richtung von d nach d' gedreht, während, wenn der Compensationsstreifen sich nach entgegengesetzter Richtung bewegt, die rückgängige Bewegung des Zeigers durch eine um die centrale Axe gewundene Spiralfeder bewirkt wird. Man berechnet die Dimensionen so, daß eine Temperaturerhöhung von 100° C. ungefähr eine Umdrehung der Nadel bewirkt. Instrumente dieser Art müssen nach einem Quecksilberthermometer graduirt werden.

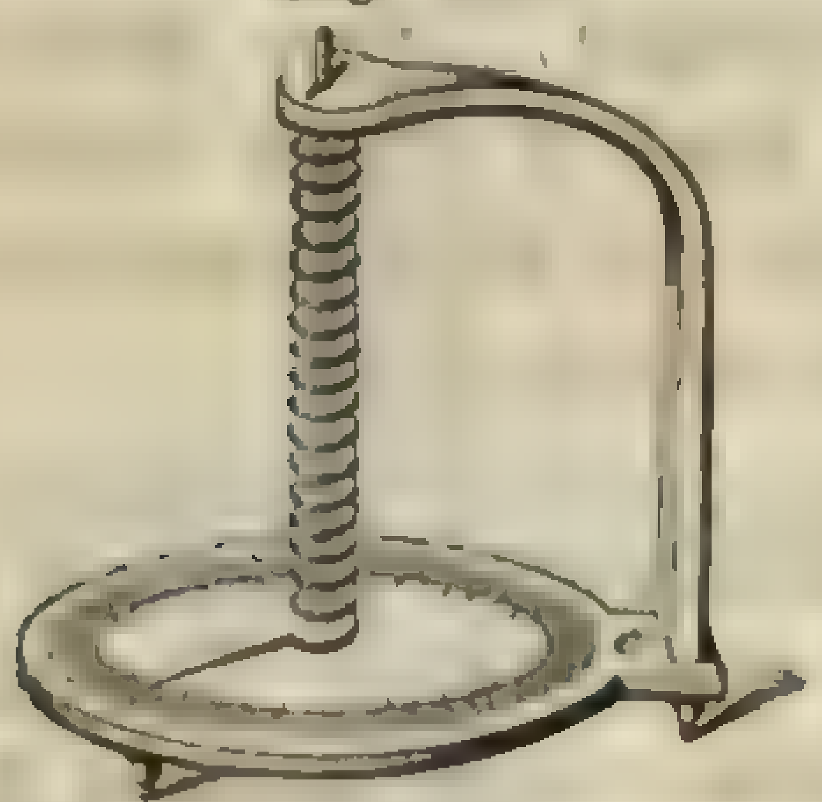
Fig. 434.



Breguet's Thermometer ist unter allen Metallthermometern das empfindlichste. Es besteht aus einem 1 bis 2 Millimeter breiten Bande von Metall, welches spiralförmig aufgewunden ist, wie Fig. 435 zeigt. Oben ist die Spirale an einem Stücke Messing befestigt, von dem sie frei herunterhängt. An ihrem unteren Ende trägt sie eine horizontale, sehr leichte Nadel, deren Spitze einen getheilten Kreis durchläuft. Die Kreisscheibe ist in der Mitte durchbrochen und ruht auf drei Füßen, damit die Luft leicht zwischen den Win=

dungen der Spiralen circuliren kann. Der ganze Apparat ist mit einer Glasglocke bedeckt, damit er vor äußeren Störungen gesichert ist.

Fig. 435.



Das Spiralband ist aus drei über einander gelegten Metallschichten zusammengesetzt, Silber, Gold und Platin; der Goldstreifen ist in der Mitte und dient, um die beiden anderen Metalle zusammenzulöthen. Da ein solches System immer noch eine bedeutende Dicke hat, so wird es ausgewalzt, bis seine ganze Dicke $^1/_{60}$ Millimeter beträgt. Man kann daraus schließen, wie außerordentlich gering die Masse dieses Bandes ist, und wie schnell es also die Temperatur der Luft annimmt, die es berührt.

Durch die ungleiche Ausdehnung von Silber und Platin wird die Spirale auf- und zugewunden; wenn also die Temperatur steigt oder sinkt, so wird sich die Nadel bewegen. Auch dieses Instrument wird nach einem Quecksilberthermometer graduirt.

Ungleiche Ausdehnung der Krystalle nach verschiedenen Richtungen. 153 Mitscherlich hat nachgewiesen, daß Krystalle, welche nicht dem regulären System angehören, nach verschiedenen Richtungen hin eine ungleiche Ausdehnung durch die Wärme erleiden.

Es läßt sich dies am leichtesten am krystallisirten Gyps und zwar an der Varietät nachweisen, von welcher schon in der Lehre vom Lichte die Rede war. Man findet häufig Zwillingskrystalle dieses Minerals, welche ungefähr die Gestalt Fig. 436 haben und unter dem Namen »Schwalbenschwänze« bekannt sind. Aus einer solchen Platte wird ein Stück in der Weise herausgeschnitten, daß die Schnittflächen $a\,b$ und $d\,e$ rechtwinklig auf der Zersammensetzungsfläche $m\,m'$ der beiden Individuen stehen. Bei der Temperatur, bei welcher der Krystall

Fig. 436.

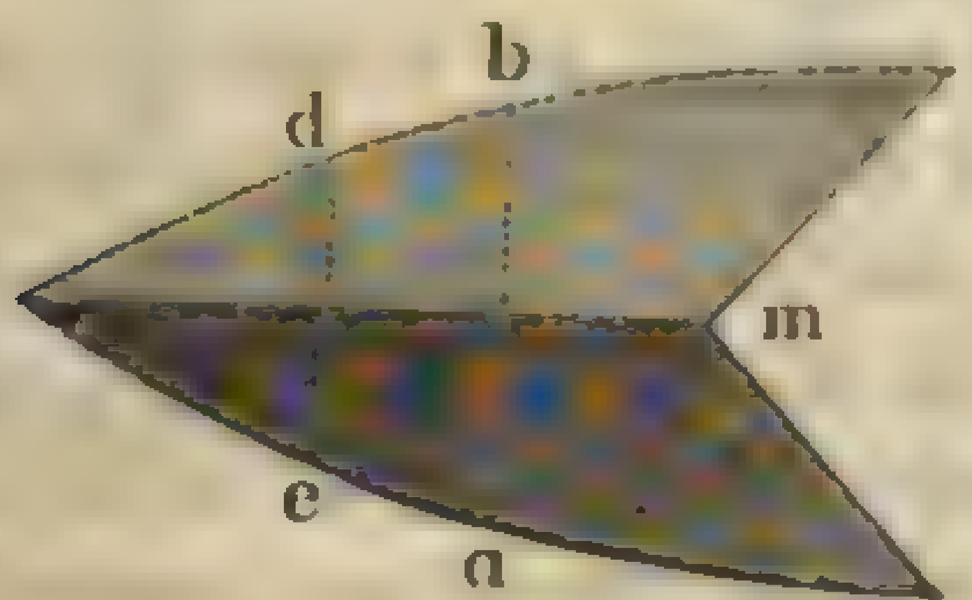


Fig. 437.



geschliffen wird, sind diese beiden Schnittflächen vollkommen eben; sobald man aber den Krystall auf 60 bis 80° erwärmt, erscheinen die beiden Flächen gebrochen, wie dies in Fig 437 angedeutet ist; denn man erblickt, nach $b\,m'\,a$ hinsehend, zwei Spiegelbilder eines entfernten Gegenstandes, woraus

hervorgeht, daß der Krystall durch ungleichförmige Ausdehnung seine Gestalt verändert hat.

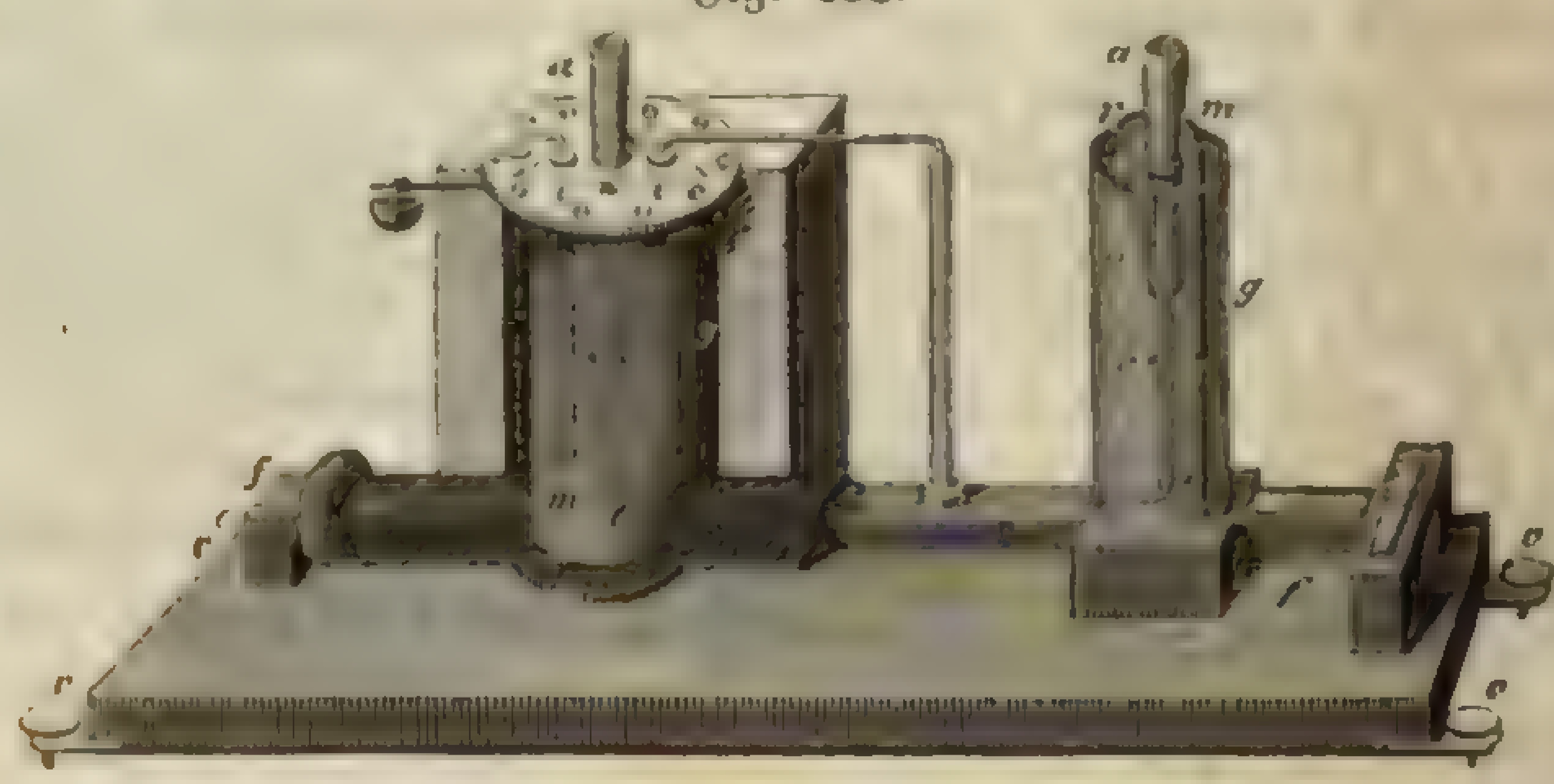
Aehnliche Erscheinungen lassen sich auch hervorbringen, wenn man zwei Krystalle so zusammenkittet, daß die Richtung der Axen in beiden verschieden ist, und dann in ähnlicher Weise eine Fläche anschleift, wie beim Gypszwilling; diese Fläche wird alsdann beim Erwärmen gebrochen erscheinen.

154 **Ausdehnung der Flüssigkeiten.** Bei den Flüssigkeiten haben wir eine absolute und eine scheinbare Ausdehnung zu unterscheiden. Die scheinbare Ausdehnung ist die, welche man an den in Gefäßen eingeschlossenen Flüssigkeiten wirklich beobachtet; die absolute Ausdehnung dagegen ist diejenige, welche man beobachten würde, wenn sich das Gefäß selbst durchaus nicht ausdehnte.

Dulong und Petit haben die absolute Ausdehnung des Quecksilbers direct mittelst eines Apparates bestimmt, welcher auf dem hydrostatischen Principe beruht, daß die Höhe flüssiger Säulen, welche sich das Gleichgewicht halten, im umgekehrten Verhältnisse der Dichtigkeit steht.

In Fig. 438 stellen $a\,t$ und $a'\,t'$ zwei verticale Röhren dar, welche durch die horizontale Röhre $t\,t'$ verbunden sind; sie werden bis zur Höhe $n\,n'$ mit

Fig. 438.



Quecksilber gefüllt. Die Röhren sind so weit, daß die Capillarität keinen nachtheiligen Einfluß ausüben kann. Dieser Apparat ist auf einer eisernen Platte $f\,f$ befestigt, die selbst wieder auf einem starken Brette von Holz ruht, welches durch die Schrauben v ins Niveau gestellt werden kann. Die eisernen Stäbe m und m' mit den Ringen c und c' erhalten die Röhren in vertikaler Stellung. Der Stab m endigt oben mit einem eisernen Bügel, dessen Ende r als Visirpunkt dient.

Einer der Schenkel wird fortwährend auf der Temperatur von 0° erhalten, während der andere nach und nach erwärmt wird, und Alles kommt darauf an, mit Genauigkeit die ungleichen Höhen der beiden Quecksilbersäulen und die Temperatur der erwärmten zu bestimmen.

Die Höhe der Säulen über der Axe der Röhre $t\,t'$ werden durch ein besonderes Instrument gemessen, welches man Kathetometer nennt. Ein mit drei Stell=

schrauben versehener Fuß, Fig. 439, trägt einen massiven verticalen Stab, um welchen sich eine Hülse *a* frei, jedoch mit etwas Reibung, drehen läßt. Ein getheilter Stab *b b* ist an dieser Hülse befestigt. Der getheilte Stab ist durch einen Ansatz *c* unbiegsam gemacht. Ein horizontales Fernrohr *d*, welches mit einer Libelle *e*, einer Corrections- und einer Stellschraube versehen ist, kann auf der ganzen Länge des getheilten Stabes *b b* auf- und niedergeschoben werden. Der Träger des Fernrohrs ist mit einem Nonius versehen, welcher sich an der Theilung des Stabes hin bewegt, und mit Hülfe dessen man noch $1/_{20}$ bis $1/_{30}$ Millimeter schätzen kann. Um das Instrument zu reguliren, wird das Fernrohr mittelst der Libelle genau horizontal gestellt und dann das ganze Instrument mittelst der Stellschrauben des Fußes so gerichtet, daß man mit dem getheilten Stabe eine ganze Umdrehung um die feste Axe machen kann, ohne daß das Niveau der Libelle sich ändert. Fig. 439 stellt den Aufriß, Fig. 441 den Grundriß und Fig. 440 die Ansicht des Fernrohrs von der Seite dar.

Fig. 439.

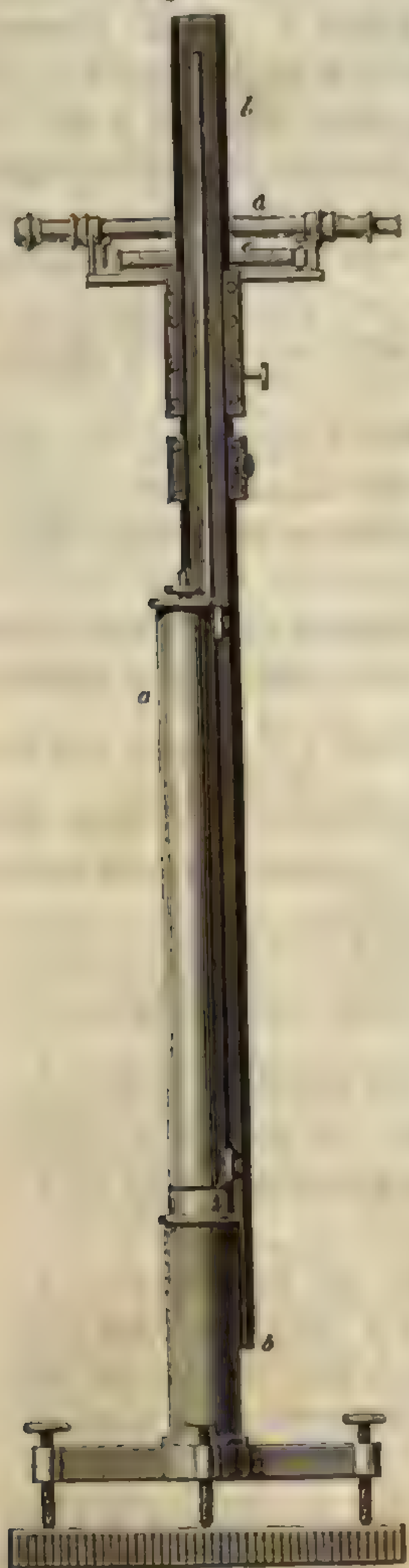


Fig. 440.

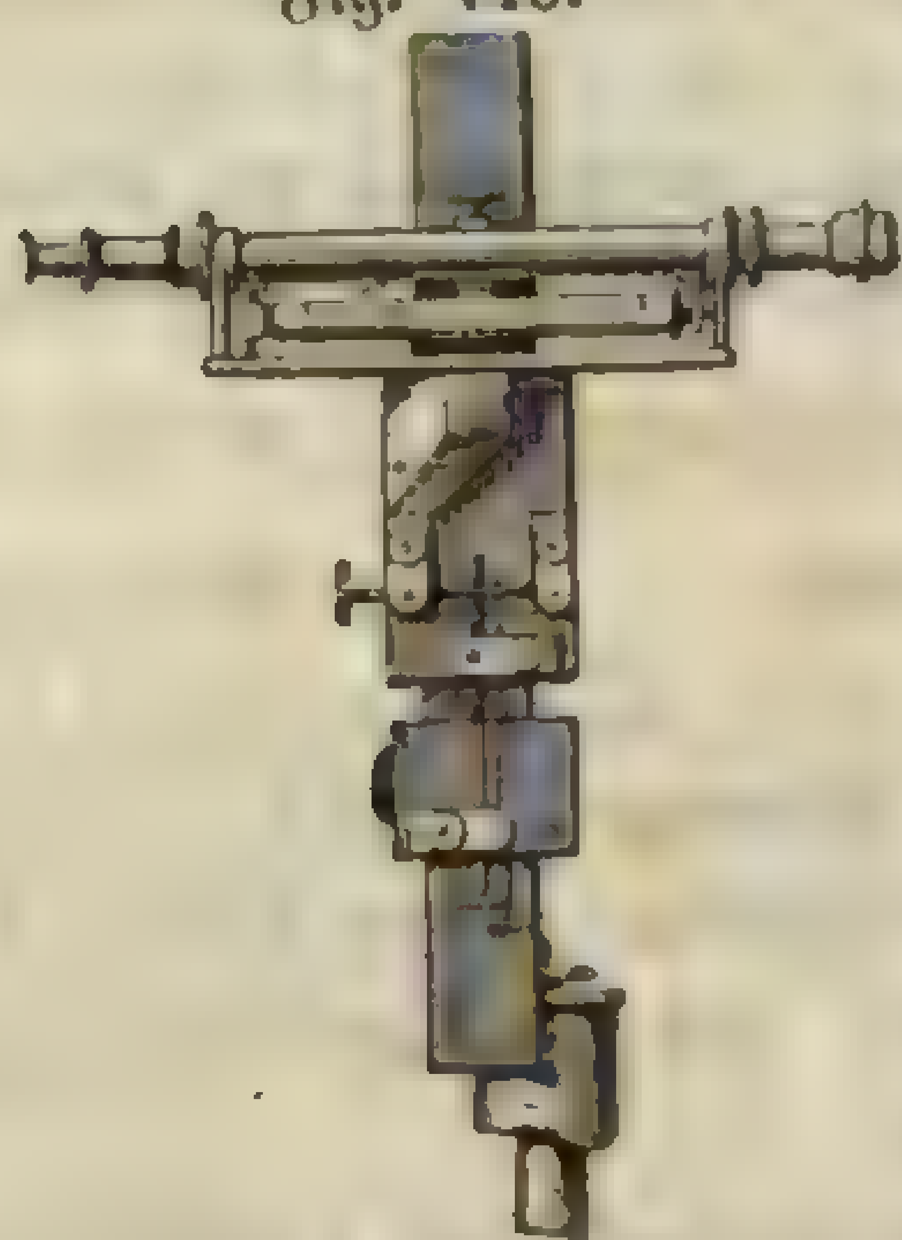
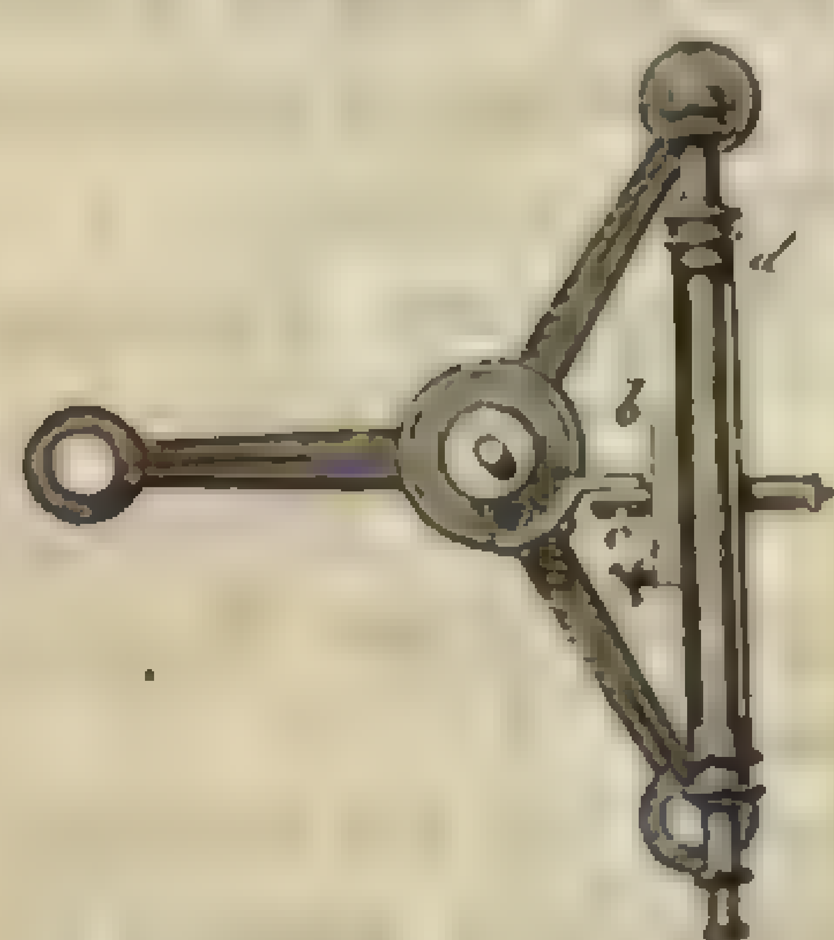


Fig. 441.



Zu den fraglichen Versuchen wird das Kathetometer in einiger Entfernung so aufgestellt, daß man bald die eine, bald die andere der beiden Röhren *a l* und *a' l'*, Fig. 438, ins Gesichtsfeld des Fernrohrs bekommt, wenn man die Hülse *a* etwas um ihre verticale Axe dreht. Man bestimmt nun ein- für allemal die Höhe des Visirpunktes *r* über der Axe der horizontalen Röhre *l l'*. Ist dies geschehen, so bestimmt man, wie viel man, vom Visirpunkte *r* ausgehend, das Fernrohr auf- oder niederschieben muß, um die Gipfel der beiden Quecksilbersäulen nach einander in die Richtung der Axe des Fernrohrs zu bringen.

Die Temperaturen werden auf folgende Art bestimmt. Ein Cylinder g, welcher die Röhre $a\,l$ umgiebt, wird mit gestoßenem Eise angefüllt. Nach dem Gipfel der Quecksilbersäule visirt man durch ein Fenster o. Da die Temperatur des Stabes m immer unverändert bleibt, so ist auch der Visirpunkt r vollkommen fest. Die Röhre $a'\,l'$ ist ebenfalls von einem Cylinder g aus Kupferblech umgeben, der mit einem fetten Oele angefüllt wird, welches wenigstens bis 300° erhitzt werden kann, ohne zu kochen. Dieser Kupfercylinder ist wieder von einem Ofen umgeben, welcher dazu dient, das Oelbad zu erwärmen. Vor jeder Beobachtung wurden alle Oeffnungen des Ofens verschlossen, in Folge dessen die Temperatur wenigstens so lange Zeit, als man zur Beobachtung nöthig hat, constant bleibt.

Die Temperatur wird durch zwei Thermometer $i\;i'$ bestimmt, von denen das eine ein Luftthermometer, das andere ein Gewichts-Quecksilberthermometer ist. Die Einrichtung und den Gebrauch derselben werden wir alsbald kennen lernen.

Nach dieser Methode, welche von der Ausdehnung des Glases ganz unabhängige Resultate giebt, fanden **Dulong** und **Petit**, daß sich das Quecksilber bei einer Temperaturerhöhung von 0° bis 100° um $\frac{1}{55,50}$ oder, was dasselbe ist, um 0,018018 . . . seines Volumens ausdehnt, d. h. wenn man mit v das Volumen einer Quecksilbermasse bei 0° bezeichnet, so wird dieselbe Masse bei 100° ein Volumen 1,018 . v einnehmen.

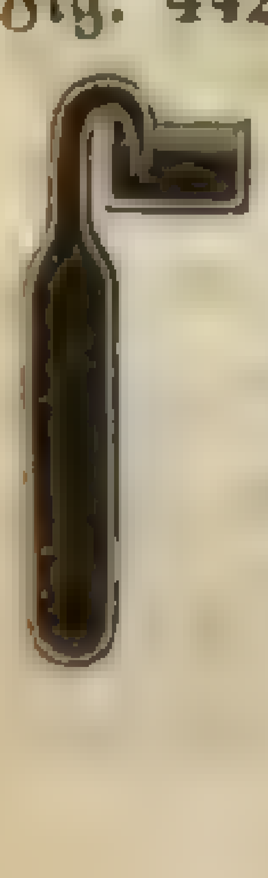
Wenn man die Temperaturen des Oelbades nach dem Luftthermometer bestimmt, so findet man, daß der Ausdehnungscoëfficient des Quecksilbers über 100° hinaus zunimmt.

Die scheinbare Ausdehnung einer Flüssigkeit ist die Differenz zwischen ihrer absoluten Ausdehnung und der kubischen Ausdehnung des Gefäßes, in welchem sie sich befindet. Um die scheinbare Ausdehnung zu bestimmen, kann man die beiden folgenden Methoden anwenden.

Man beobachtet den Gang eines Thermometers, von welchem man ganz genau ausgemittelt hat, in welchem Verhältnisse das Volumen eines solchen Röhrenstücks, welches zwischen zwei Theilstrichen liegt, zum Inhalte der Kugel steht. Es ist in der Regel mit großen Schwierigkeiten verbunden, dieses Verhältniß genau zu bestimmen.

Die zweite Methode beruht auf der Anwendung eines sogenannten Gewichtsthermometers, welches soeben schon erwähnt wurde. Ein Glasgefäß, am besten von der Fig. 442 dargestellten Form, welches in eine feine gekrümmte Spitze ausgezogen ist, wird mit Quecksilber von 0° gefüllt. Man bestimmt alsdann das Gewicht des bei 0° im Gefäße enthaltenen Quecksilbers und erwärmt es, indem man es in ein geeignetes Wasser- oder Oelbad bringt. Je mehr die Temperatur steigt, desto mehr Quecksilber wird aus der feinen Oeffnung hervordringen. Aus der Menge des Quecksilbers, welches auf diese Weise aus dem Gefäße heraustritt, kann man die scheinbare Ausdehnung ermitteln. Ge-

Fig. 442.



setzt, das Quecksilber, welches bei 0° einen solchen Apparat füllt, habe 264 Gramm gewogen; man habe es bis 100° erwärmt, und dabei sey so viel Quecksilber ausgetreten, daß das, was im Gefäße zurückbleibt, nur noch 260 Gramm wiegt, so ist klar, daß das Quecksilber, wenn man die Ausdehnung des Gefäßes nicht berücksichtigen müßte, bei einer Temperaturerhöhung von 100° sich im Verhältniß von 260 zu 264 ausdehnte, d. h. also die scheinbare Ausdehnung des Quecksilbers von 0° bis 100° beträgt $\frac{4}{260}$ oder $\frac{1}{65}$

Das Seite 454 angeführte Gewichts-Quecksilberthermometer, mit Hülfe dessen man die Temperatur des Oelbades bestimmt, ist ein Apparat dieser Art. Man bestimmt die Temperatur nach der Quantität des ausgetretenen Quecksilbers.

Wenn die scheinbare Ausdehnung einer Flüssigkeit und die kubische Ausdehnung des Gefäßes bekannt ist, so kann man die absolute Ausdehnung berechnen; umgekehrt kann man die kubische Ausdehnung des Gefäßes bestimmen, wenn man die absolute und scheinbare Ausdehnung der Flüssigkeit kennt.

Dulong und Petit fanden für die scheinbare Ausdehnung des Quecksilbers in Glasgefäßen von 0° bis 100° $\frac{1}{64,80}$, oder, was dasselbe ist, 0,015432. Da nun die absolute Ausdehnung des Quecksilbers nach ihren Versuchen für eine gleiche Temperaturerhöhung 0,018018 ist, so ist die kubische Ausdehnung des Glasgefäßes 0,018018 — 0,015432 = 0,002586. Nun aber findet man den Ausdehnungscoëfficienten für die lineare Ausdehnung eines Körpers, wenn man den Ausdehnungscoëfficienten für die kubische Ausdehnung durch 3 dividirt. Für die Längenausdehnung des Glases ergiebt sich demnach der Ausdehnungscoëfficient 0,000862, wie man ihn auch auf Seite 447 angegeben findet. Auf diesem Wege haben Dulong und Petit wirklich den Ausdehnungscoëfficienten des Glases bestimmt.

Durch sehr genaue Versuche hat Regnault gezeigt, daß die Ausdehnung verschiedener Glassorten bei höheren Temperaturen so ungleichförmig ist, daß dadurch ein ganz verschiedener Gang der Thermometer veranlaßt wird, so daß zwei Thermometer, deren Kugeln aus verschiedenen Glassorten gefertigt sind und welche zwischen 0° und 100° genau mit einander gehen, über 100° hinaus differiren. So gab ein Thermometer von Krystallglas 340,07° an, während ein bis 100° mit ihm harmonirendes gleichzeitig in demselben Oelbade 333,72° zeigte; die Differenz beider Thermometer betrug also 6,35°.

Die meisten Flüssigkeiten behnen sich selbst zwischen 0° und 100° nicht regelmäßig aus, wie wir dies alsbald sehen werden.

Um die Ausdehnung verschiedener flüssiger Körper durch den Versuch zu bestimmen, kann man sich eines Apparates bedienen, wie der ist, welcher Fig. 442 abgebildet ist und welcher benutzt wird, die scheinbare Ausdehnung des Quecksilbers zu finden; ungleich bequemer aber ist der Fig. 443 (s. f. S.) abgebildete, von

Gay-Lussac angegebene Apparat. Der Hals eines Glasgefäßes von entsprechender Größe ist an einer Stelle ganz eng ausgezogen, so daß sich über der engen Stelle gewissermaßen ein Trichter befindet. Die engste Stelle des Halses *a* ist auf irgend eine Weise markirt. Man füllt nun die Kugel mit der zu untersuchenden Flüssigkeit, so daß sie noch über *a* hinaus im Trichter steht, und erkaltet das Ganze bis auf 0°, indem man den ganzen Apparat mit schmelzendem Schnee oder schmelzendem Eise umgiebt. Ist die Flüssigkeit bis auf 0° erkaltet, so entfernt man alle Flüssigkeit, welche noch über der Marke steht. Wenn man die so gefüllte Kugel wiegt, vom gefundenen Gewichte das des Glasgefäßes abzieht, so erhält man das Gewicht der Flüssigkeit, welche bei 0° in die Kugel geht. Sobald man die Kugel erwärmt, dehnt sich die Flüssigkeit aus, sie steigt über die Marke *a* in den Trichter. Wenn man bis zu einer bestimmten Temperatur, etwa bis auf 100°, erwärmt hat, nimmt man alle über *a* stehende Flüssigkeit wieder weg, und wiegt dann von Neuem. Nach den beiden Wägungen läßt sich dann leicht die scheinbare Ausdehnung berechnen.

Fig. 443.

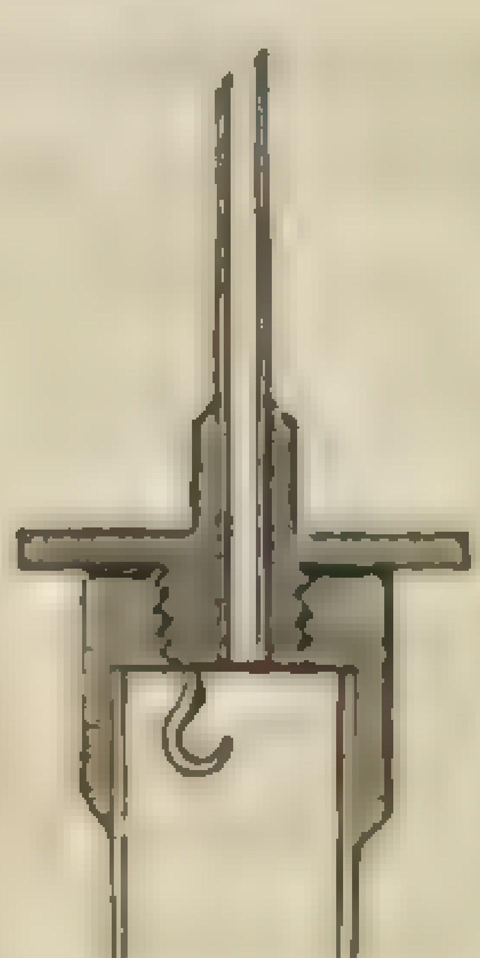


155 **Dichtigkeit des destillirten Wassers.** Alle Körper ändern fortwährend, unter dem Einflusse der Wärme, ihr Volumen, sie ändern also auch ihre Dichtigkeit; im Gesetze dieser Veränderungen macht aber das Wasser eine merkwürdige Ausnahme. Wenn man von 0° an seine Temperatur erhöht, zieht es sich zusammen, anstatt sich auszudehnen; es zieht sich mehr und mehr zusammen bis zu einer Temperatur von 4°, und von dieser Temperatur an dehnt es sich dann aus, wenn es noch mehr erwärmt wird. Bei einer Temperatur von 4° hat also das Wasser ein Dichtigkeitsmaximum. Am besten läßt sich dieses Phänomen an einem Wasserthermometer beobachten; um aber die Erscheinung recht deutlich zu machen, muß man ein Thermometer von etwas großen Dimensionen anwenden; ganz besonders möchte in dieser Hinsicht der Fig. 444 abgebildete Apparat zu empfehlen seyn.

Fig. 444.



Fig. 445.



Ein Ballon, welcher ungefähr 1 Liter hält, ist mit einer messingenen Fassung versehen, in welche eine in Messing gefaßte Glasröhre aufgeschraubt werden kann, wie Fig. 445 deutlicher zeigt. Zwischen der oberen Fläche der Fassung des Ballons und der Fassung der Röhre ist eine mit Talg getränkte Lederscheibe eingelegt, so daß man überzeugt seyn kann, daß bei gehörigem Anziehen der Schraube hier kein Wasser entweicht. Am unteren Ende

der Schraube ist ein Häkchen angebracht, an welches man ein Thermometer hängen kann. Dieses Thermometer, ganz von dem Wasser des Ballons umgeben, zeigt die Temperatur desselben. Zu genauer Messung der Temperatur kann jedoch dieses Thermometer nicht dienen, weil man es der Lichtbrechung wegen nicht ganz richtig ablesen kann. An der Glasröhre ist ein getheilter Stab angebracht, um darauf die Variationen der Wassersäule im Rohre abzulesen. Zum Nullpunkte der Theilung kann man den untersten Punkt des getheilten Stabes nehmen.

Mit einem Apparate dieser Art wurden folgende Beobachtungen gemacht:

Temperatur des Wassers.	Stand des Wassers in der Röhre.	Reducirter Wasserstand.
0	48,75^cm^	48,75^cm^
1,56	39,25^cm^	42,79^cm^
3,5	31,25^cm^	39,19^cm^
4	30,3^cm^	39,38^cm^
5,25	29,17^cm^	41,09^cm^
5,75	29,12^cm^	42,17^cm^
8	32,25^cm^	50,41^cm^
9	36,25^cm^	56,68^cm^
12	56,25^cm^	82,49^cm^
16,25	89,25^cm^	126,14^cm^

Während also bei einer Temperatur von 0° das Wasser in der Röhre $48^3/_4$ Centimeter über dem Nullpunkte stand, sank es bis auf $29{,}12^{cm}$, also um $19{,}63^{cm}$, während die Temperatur um 5,75° stieg; bei noch mehr wachsender Temperatur stieg aber das Wasser in der Röhre wieder. Diese Beobachtungsreihe, welche Fig. 446 durch die Linie *a b* graphisch dargestellt ist, scheint auf den ersten Anblick anzudeuten, daß das Dichtigkeitsmaximum des Wassers bei einer Temperatur von $5^1/_4$° stattfindet; aus dieser Beobachtungsreihe aber folgt ein ganz anderes Resultat, wenn man die Ausdehnung des Glasgefäßes mit in Rechnung bringt.

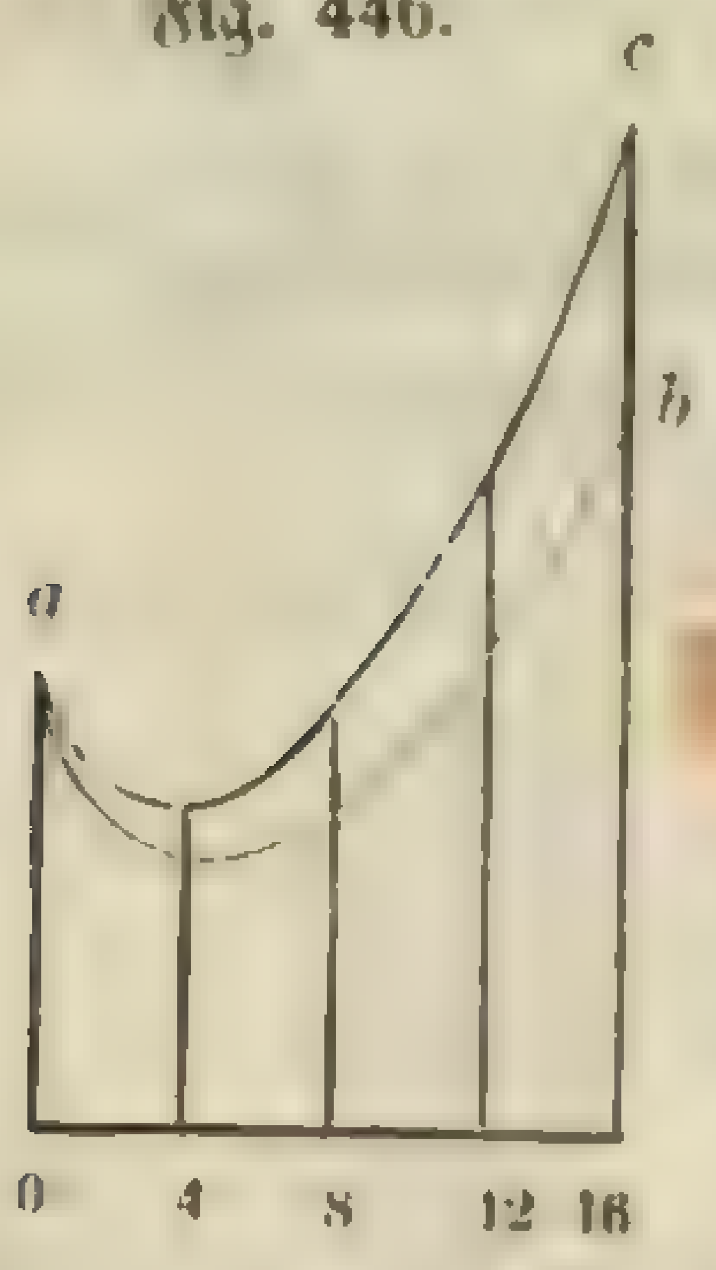
Wenn von 0° an die Temperatur steigt, zieht sich das Wasser zusammen, das Volumen des Glasgefäßes aber vergrößert sich; das beobachtete Sinken der Wassersäule ist also gleichsam die Summe zweier Wirkungen, der Contraction des Wassers und der Ausdehnung des Glases; um genau die Lage des Dichtigkeitsmaximums und die Größen-Veränderungen in der Dichtigkeit des Wassers zu ermitteln, muß man genau die Capacität des Gefäßes und der Röhre ausmitteln.

Der Inhalt des Ballons betrug bei jenem Apparat 1016 Kubikcentimeter, ein Röhrenstück von 10 Centimeter Länge hatte aber eine Capacität von 0,118 Kubikcentimeter. Berechnet man die kubische Ausdehnung des Glasgefäßes für 1° C., so findet man, daß es sich für eine solche Temperaturerhöhung um 0,02682 Kubikcent. ausdehnt; wenn also das Wasser unter dem Einflusse der Wärme sich weder ausdehnte, noch zusammenzöge, so würde doch, so oft die Temperatur um 1° steigt, in Folge der Glasausdehnung das Wasser in der Röhre um 2,27 Centimeter sinken, da, wie man leicht berechnen kann, ein

Röhrenstock von 2,27 Centimeter Länge einen kubischen Inhalt von 0,0268 Kubikcentimetern hat.

Nun ist es leicht, den Einfluß der Glasausdehnung auf den Gang der Erscheinung nachzuweisen; wenn keine Glasausdehnung stattfände und der Ballon stets dieselbe Capacität hätte wie bei 0°, so würde bei 1° das Wasser um 2,27cm, bei 2° um 2 . 2,27, bei 3° um 3 . 2,27 u. s. w. höher stehen, als man beobachtet hat. Berechnet man auf diese Weise für jede der in obiger Tabelle enthaltenen Temperaturen den Wasserstand, wie er seyn würde, wenn die Glasausdehnung nicht influirte, so erhält man die Zahlen der dritten Columne obiger Tabelle, welche den Gang der Zusammenziehung und der Ausdehnung des Wassers darstellen. Nach diesen Zahlen ist die wahre Ausdehnungscurve *a c*, Fig. 446, des Wassers construirt. Man sieht, daß das Dichtigkeitsmaximum wirklich in der Nähe von 4° liegt.

Fig. 446.



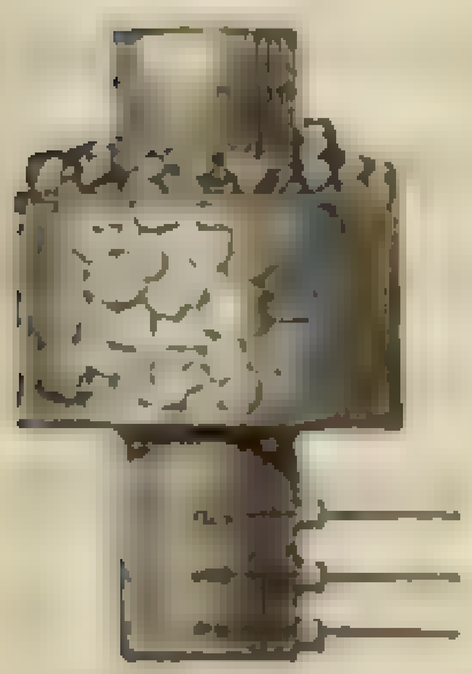
Wenn man beabsichtigt, mit diesem Apparate genaue Messungen zu machen, so muß man ihn in einem Zimmer aufstellen, in welchem kein sehr rascher Temperaturwechsel stattfinden kann; denn nur in diesem Falle kann die Temperatur der ziemlich bedeutenden Wassermasse der Temperatur der Umgebung folgen. Man beobachtet dann von Zeit zu Zeit die correspondirenden Temperaturen und Wasserstände in der Röhre. Begreiflicher Weise erfordert eine vollständige Beobachtungsreihe der Art eine Zeit von wenigstens einigen Monaten. Bei der Beobachtungsreihe, deren Resultate in der Tabelle auf Seite 457 angeführt sind, wurden nicht alle Vorsichtsmaßregeln angewendet, um ein ganz genaues Resultat zu sichern; doch sind diese Resultate der Wahrheit gewiß sehr nahe und dienen sehr gut, um den Gang des Phänomens zu übersehen.

Diese merkwürdige Eigenschaft des Wassers wurde schon im 17ten Jahrhundert von den Mitgliedern der Academia del Cimento beobachtet. Sie veranlaßt die Erscheinung, daß, wenn man mitten in ein etwa 8 Zoll hohes und 3 Zoll weites, mit warmem Wasser gefülltes Gefäß zwei Thermometer so einsenkt, daß die Kugel des einen etwa 2 Zoll unter dem Wasserspiegel, die des andern aber 2 Zoll über dem Boden sich befindet, dann das Gefäß in einem 1° bis 2° warmen Zimmer langsam erkalten läßt, daß alsdann anfangs das untere Thermometer tiefer steht, daß ungefähr bei 4° beide Thermometer gleich stehen, daß aber bei fernerem Erkalten das untere Thermometer eine höhere Temperatur zeigt. Anfangs ist nämlich das an den Wänden des Gefäßes abgekühlte Wasser schwerer als das etwas wärmere Wasser in der Mitte, es entsteht also ein Strom, das warme Wasser steigt in der Mitte, das kältere sinkt auf den Seiten. Dieser Strom kehrt seine Richtung um, sobald die Erkaltung unter 4° fortgeschritten ist. Bei der Temperatur des Dichtigkeitsmaximums findet gar kein Strom Statt, und beide Thermometer zeigen gleiche Temperatur. Tralles, Hope und Hallström haben die Temperatur des Dichtig-

keitsmaximums gerade dadurch bestimmt, daß sie beobachteten, bei welcher Temperatur jene beiden Thermometer gleich stehen.

Man kann zu diesem Versuche auch den Fig. 447 abgebildeten Apparat anwenden, bei welchem die Erkaltung durch Eisstücke hervorgebracht wird, die sich in einer Hülle befinden, welche den oberen Theil des mit Wasser gefüllten Gefäßes umgiebt.

Fig. 447.



Die Temperatur des Dichtigkeitsmaximums ist 4°, als Mittel aus den besten Beobachtungen, welche zwischen 3,780° und 4,108° schwanken. Diese Differenzen zwischen den Beobachtungen sind leicht erklärlich, wenn man bedenkt, wie außerordentlich wenig sich die Dichtigkeit des Wassers in der Nähe dieses Punktes ändert.

Die Dichtigkeit des Wassers für verschiedene Temperaturen zwischen 0° und 20° bestimmte Hallström mit Hülfe der hydrostatischen Wage. Nach seinen Beobachtungen beträgt die Contraction des Wassers von 0° bis zur Temperatur der größten Dichtigkeit 0,00010824 seines Volumens. Despretz suchte die Dichtigkeit des Wassers zwischen 4° und 100° durch die Beobachtung thermometerartiger Apparate zu bestimmen. Seine Angaben möchten wohl die genauesten unter allen seyn. Er machte 19 Beobachtungen zwischen 4° und 100° und entwarf danach mittelst graphischer Interpolation die folgende Tabelle.

Wahre Volumina des Wassers nach Despretz.

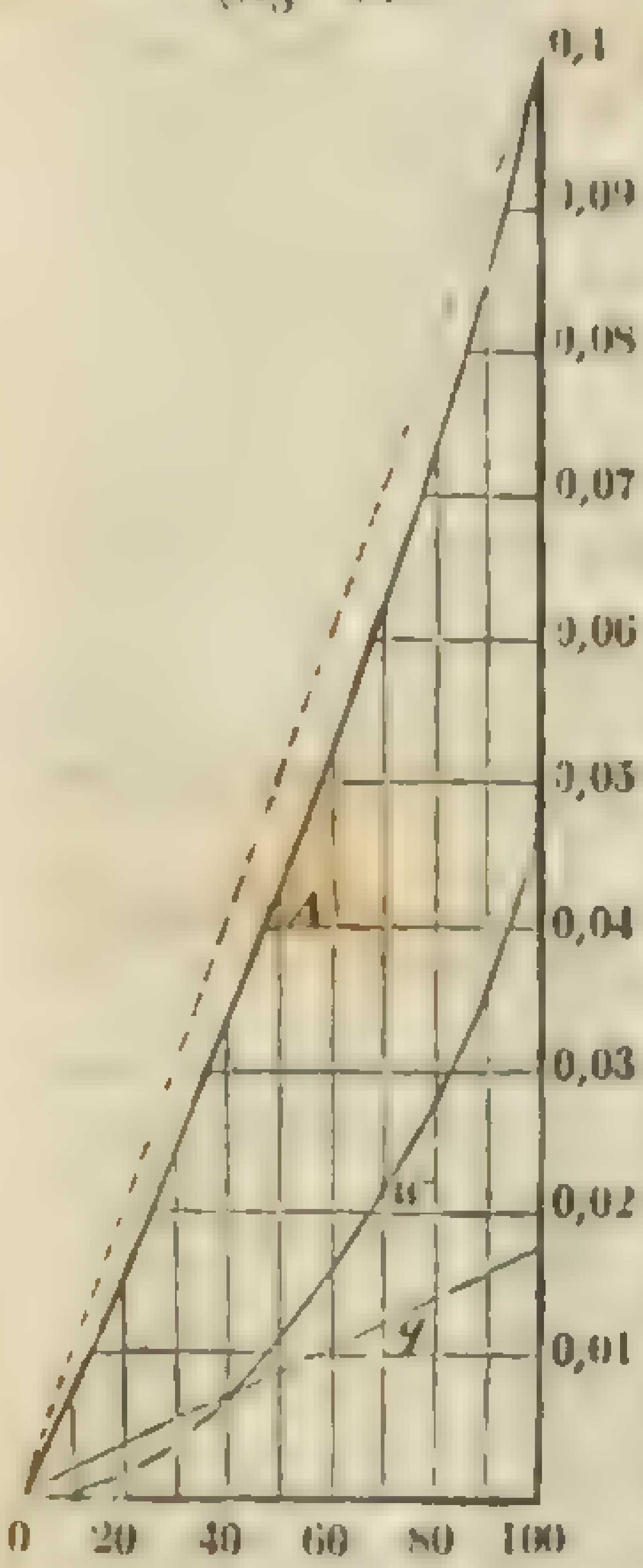
Temp.	Volumen.	Temp.	Volumen.	Temp.	Volumen.	Temp.	Volumen
4° C.	1,0000000	29° C.	1,00403	53° C.	1,01345	77° C.	1,02694
5	1,0000082	30	1,00433	54	1,01395	78	1,02761
6	1,0000309	31	1,00463	55	1,01445	79	1,02823
7	1,0000708	32	1,00494	56	1,01495	80	1,02885
8	1,0001216	33	1,00525	57	1,01547	81	1,02954
9	1,0001879	34	1,00555	58	1,01597	82	1,03022
10	1,0002684	35	1,00593	59	1,01647	83	1,03090
11	1,0003598	36	1,00624	60	1,01698	84	1,03156
12	1,0004723	37	1,00661	61	1,01752	85	1,03225
13	1,0005862	38	1,00699	62	1,01809	86	1,03293
14	1,0007146	39	1,00734	63	1,01862	87	1,03361
15	1,0008751	40	1,00773	64	1,01913	88	1,03430
16	1,0010215	41	1,00812	65	1,01967	89	1,03500
17	1,0012067	42	1,00853	66	1,02025	90	1,03566
18	1,00139	43	1,00894	67	1,02085	91	1,03639
19	1,00158	44	1,00938	68	1,02144	92	1,03710
20	1,00179	45	1,00985	69	1,02200	93	1,03782
21	1,00200	46	1,01020	70	1,02255	94	1,03852
22	1,00222	47	1,01067	71	1,02315	95	1,03925
23	1,00244	48	1,01109	72	1,02375	96	1,03999
24	1,00271	49	1,01157	73	1,02440	97	1,04077
25	1,00293	50	1,01205	74	1,02509	98	1,04153
26	1,00321	51	1,01248	75	1,02562	99	1,04228
27	1,00345	52	1,01297	76	1,02631	100	1,04315
28	1,00374						

Wenn man die Dichtigkeit des Wassers bei 4° gleich 1 setzt, so erhält man nach dieser Tabelle die Dichtigkeit des Wassers für jede andere Temperatur, wenn man das dieser Temperatur entsprechende Volumen in 1 dividirt.

Das Phänomen des Dichtigkeitsmaximums scheint, als eine zufällige Ausnahme der allgemeinen Ausdehnungsgesetze, nicht von besonderer Wichtigkeit zu seyn; wir werden jedoch weiter unten sehen, welch eine wichtige Rolle es in dem Haushalte der Natur spielt. Nur in Folge dieser Eigenschaft können in höheren Breiten Flüsse und Seen in einer gewissen Tiefe stets flüssig bleiben, nur dadurch ist es möglich, daß die lebenden Geschöpfe, welche die Gewässer bevölkern, in allen Jahreszeiten aushalten können.

Die Fig. 448 dient dazu, den Gang der Ausdehnung von Quecksilber, Wasser und Weingeist anschaulich zu machen und unter einander zu vergleichen.

Fig. 448.



Die unterste Curve stellt das Ausdehnungsgesetz des Quecksilbers dar, sie ist eine gerade Linie, weil diese Flüssigkeit sich zwischen 0° und 100° gleichförmig ausdehnt. Das Wasser dehnt sich zwischen diesen Temperaturgränzen stärker aus, und zwar um 0,045 seines Volumens bei 0°; allein die Ausdehnung ist nicht gleichförmig. Die mittlere Curve stellt das Ausdehnungsgesetz des Wassers dar, sie zeigt anfangs eine Contraction, bei 8° ist die Dichtigkeit des Wassers wieder so groß wie bei 0°, bei wachsender Temperatur dehnt sich aber das Wasser in einem immer wachsenden Verhältnisse aus, wie man aus der Curve leicht ersieht. Die oberste Curve stellt die Ausdehnung des Weingeistes dar; diese Curve bildet anfangs eine gerade Linie, denn der Weingeist dehnt sich bis 50° gleichförmig aus, von da an aber in wachsendem Verhältnisse. Aus der Vergleichung der Ordinaten ersieht man, um den wievielten Theil des Volumens bei 0° sich jene Flüssigkeiten bei einer bestimmten Temperaturerhöhung ausdehnen.

Bei einer Temperaturerhöhung von 0 bis 40° C. dehnt sich Schwefeläther um 0,0639 seines Volumens bei 0°, Steinöl um 0,106 bei einer Erwärmung von 0° bis 95°.

156 **Ausdehnung gasförmiger Körper.** Da die Wärme ein Agens ist, welches die Körper ausdehnt, also die Theilchen weiter von einander entfernt, so wirkt sie offenbar der Cohäsionskraft entgegen. Nun aber ist die Cohäsionskraft bei festen Körpern am stärksten, die ausdehnende Kraft der Wärme wird also bei festen Körpern den größten Widerstand zu überwinden haben; die festen Körper können also diesem Raisonnement zufolge durch die Wärme nicht so stark ausgedehnt werden als flüssige und gasförmige. Die Erfahrung bestätigt dies vollkommen. Wir können aber weiter schließen, daß, da die Cohäsionskraft, welche die Theilchen verschiedener fester Körper zusammenhält, nicht gleich

ist, verschiedene feste Körper sich ungleich ausdehnen werden. Bei hohen Temperaturen sind die Theilchen der festen Körper schon weiter von einander entfernt als bei niedrigen, bei hohen Temperaturen setzt also die Cohäsionskraft einer ferneren Ausdehnung auch einen geringeren Widerstand entgegen; bei hohen Temperaturen wird also der Ausdehnungscoëfficient eines und desselben festen Körpers größer seyn müssen als bei niedrigen. Auch dies wird durch die Erfahrung bestätigt. Ueberträgt man diese Schlüsse auf Flüssigkeiten, so folgt, daß verschiedene Flüssigkeiten verschiedene Ausdehnungscoëfficienten haben werden, und daß dieselbe Flüssigkeit sich bei höheren Temperaturen verhältnißmäßig mehr ausdehnen werde als bei niedrigen, was auch, wie wir beim Quecksilber, Weingeist und Wasser gesehen haben, der Fall ist.

Bei gasförmigen Körpern ist die Wirkung der Cohäsionskraft auf die einzelnen Theilchen gleich Null, die Cohäsionskraft setzt also der ausdehnenden Kraft der Wärme kein Hinderniß mehr entgegen. Daraus ergeben sich mehrere wichtige Folgerungen. Erstens müssen gasförmige Körper durch die Wärme bei Weitem stärker ausgedehnt werden als feste und flüssige, was schon durch die oberflächlichsten Versuche bestätigt wird; zweitens muß aber auch die Ausdehnung durch die Wärme nicht nur für alle Gasarten, sondern auch für alle Temperaturen dieselbe seyn, d. h. der Ausdehnungscoëfficient ist derselbe für alle gasförmigen Körper, und alle Gase dehnen sich stets der Zunahme der Temperatur proportional aus.

Die Versuche bestätigen in der That, daß sich alle Gasarten fast in gleichem Verhältnisse ausdehnen; daß aber die Ausdehnung der Gase der Temperaturzunahme proportional ist, läßt sich durch Versuche nicht nachweisen, weil wir ja kein directes Mittel haben, die Temperatur zu messen, und weil wir ja gerade die Ausdehnung selbst zur Temperaturbestimmung benutzen.

Obgleich uns aber hier der directe Beweis durch den Versuch fehlt, so dürfen wir dennoch die gleichmäßige Ausdehnung der Luft um so mehr als wahr ansehen, als alle übrigen Folgerungen des Raisonnements, welche uns endlich zu diesen Schlusse führten, durch alle Versuche vollständig bewahrheitet sind.

Man hatte sich lange vergeblich bemüht, den Ausdehnungscoëfficienten der Luft zu bestimmen; man erhielt stets stark unter sich abweichende Resultate, was darin lag, daß man die angewendete Luft nicht gehörig von Wasserdämpfen befreit hatte, welche, wie wir bald sehen werden, die Resultate wesentlich modificiren. Gay-Lussac war der Erste, welcher constante Resultate erhielt. Nach seinen Bestimmungen ist der Ausdehnungscoëfficient der Luft 0,375, d. h. wenn man Luft von 0° bis auf 100° erwärmt, so dehnt sie sich um 0,375 oder $^3/_8$ ihres Volumens aus, vorausgesetzt, daß der Druck, unter welchem diese Luftmasse steht, sich nicht verändert.

Gay-Lussac bediente sich zu seinen Versuchen einer Glasröhre, welche, ungefähr 30 bis 40^{cm} lang, 1 bis 1,5^{mm} Durchmesser hatte, und an deren einem Ende eine Kugel von etwa 0,8 bis 1^{cm} Durchmesser angeblasen war. Die Röhre war graduirt und das Verhältniß des Kugelinhalts zum Volumen der durch die Theilstriche auf der Röhre gemachten Abtheilungen derselben genau

bestimmt. Man gelangt dazu, indem man erst die Kugel und einen Theil der Röhre mit Quecksilber füllt und das Gewicht des Quecksilbers bestimmt, dann von Neuem Quecksilber zufüllt und abermals wiegt. Aus dem Verhältnisse der gefundenen Gewichte läßt sich dann auf das Verhältniß der Volumina schließen.

Nachdem auf diese Weise der Rauminhalt der Kugel und der Röhre gehörig verglichen sind, muß die Kugel mit trockener Luft gefüllt und dafür gesorgt werden, daß alle Feuchtigkeit, welche etwa noch an den Glaswänden anhängt, vollständig entfernt werde. Dies wird dadurch erreicht, daß man Quecksilber in der Röhre sieden läßt, gerade so, wie man beim Füllen eines gewöhnlichen Thermometers verfährt. Ist so die Feuchtigkeit entfernt und die Kugel sammt der Röhre mit Quecksilber angefüllt, so befestigt man am offenen Ende der Röhre ein weiteres Glasrohr, welches mit Stücken von Chlorcalcium gefüllt ist. Bringt man nun die Röhre in die verticale Stellung, wie es Fig. 449 zeigt, so fließt das Quecksilber aus, und Luft tritt statt dessen in die Röhre und die Kugel ein, welche vollkommen trocken ist, weil sie durch die Chlorcalciumstücke hat hindurchstreichen müssen.

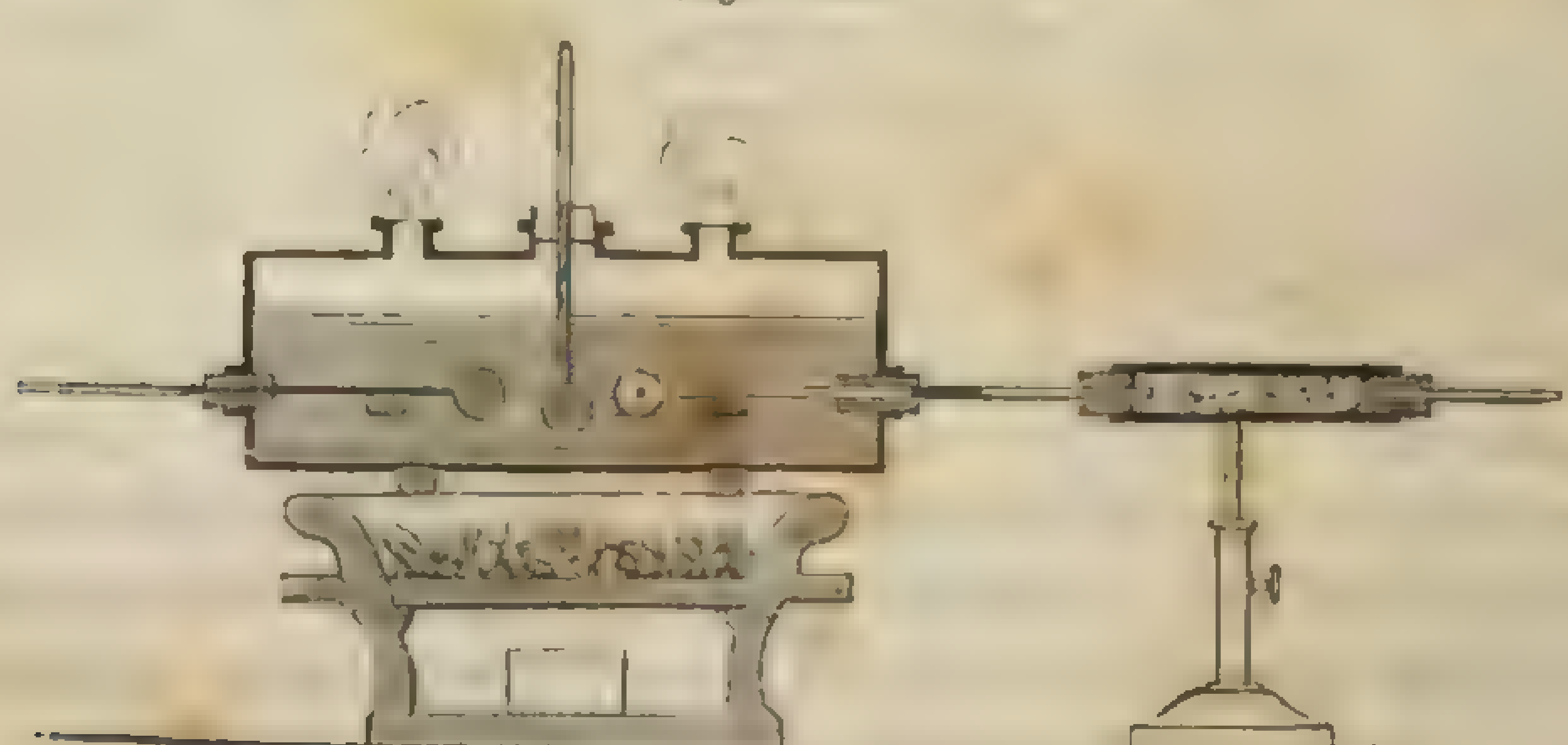
Fig. 449.



Um das Ausfließen des Quecksilbers aus dem etwas engen Rohre zu bewerkstelligen, steckt man durch die Chlorcalciumröhre hindurch in die Röhre des Luftthermometers einen Eisendraht, den man nur etwas auf- und niederzuschieben nöthig hat, um das Quecksilber herauszubringen. Wenn man so alles Quecksilber bis auf eine geringe Menge aus der Röhre entfernt hat, zieht man den Draht zurück. Die kleine Quecksilbersäule, welche noch zurückbleibt, dient als Index. Es besteht auf diese Weise keine Verbindung zwischen der Luft, welche in der Kugel abgesperrt ist, und der äußeren Luft, und die Röhre kann also ganz offen bleiben. Bringt man nun dies Instrument in eine horizontale Lage, so hat man ein Luftthermometer.

Man beobachtet den Theilstrich der Röhre, bei welchem sich der Index feststellt, wenn der Apparat in gestoßenes geschmolzenes Eis gebracht wird. Da man weiß, wie vielmal das Volumen einer Röhrenabtheilung in dem Volumen der Kugel enthalten ist, so ist durch diese Beobachtung das Volumen ausgemittelt, welches die abgesperrte trockene Luft bei 0° einnimmt. Nun bringt man das Instrument in einen Kasten, Fig. 450, der mit Was-

Fig. 450.



ser gefüllt ist, welches man bis zu einer beliebigen Temperatur t erwärmen kann, und zwar so, daß die Röhre noch aus der Wand des Kastens hervorragt. Die Röhre wird gerade bis zum Index in den Kasten hineingeschoben, damit alle abgesperrte Luft die Temperatur des Bades annehme. Bei dieser Erwärmung dehnt sich die abgesperrte Luft aus, der Index wird weiter von der Kugel fortgetrieben, und man beobachtet, wo er sich bei irgend einer fixen Temperatur feststellt. Dadurch ist das vergrößerte Volumen bekannt.

Sollte sich während des Versuchs der Barometerstand geändert haben, so ist diese Veränderung mit in Rechnung zu bringen.

Die kubische Ausdehnung des Glasgefäßes ist auch noch in Rechnung zu bringen. Die Correction, welche dadurch veranlaßt wird, ist jedoch im Vergleich zu der Ausdehnung der Luft höchst unbedeutend. Wenn man den Ausdehnungscoëfficienten der Luft für eine Temperaturerhöhung von 100° ohne Berücksichtigung der Ausdehnung des Glases ermittelt, so hat man zu demselben, um diese Vernachlässigung zu corrigiren, noch 0,002 zu addiren.

Mit Berücksichtigung aller Correctionen fand Gay-Lussac für den Ausdehnungscoëfficienten der trockenen Luft sowohl als aller trockenen Gasarten den schon angeführten Werth 0,375. Bei einer Untersuchung, welche Rudberg über die Schmelzpunkte von Zinn, Kadmium und Blei ausführte, drängte sich ihm Zweifel über die Richtigkeit dieser für die Wissenschaft so wichtigen Constanten auf. Er suchte dieselbe nach einer anderen Methode zu bestimmen und fand statt 0,375 die Zahl 0,365.

Rudberg wendete zu seinen Versuchen eine nicht gar lange, mit einer Kugel versehene Thermometerröhre an, welche auf der anderen Seite in eine feine Spitze ausgezogen war. Der Durchmesser der Kugel beträgt etwa 2,5 Centimeter. Sie wird dadurch mit trockener Luft gefüllt, daß man die Spitze der Röhre mittelst eines Korkes in eine Chlorcalciumröhre steckt und sie alsdann durch die Spirituslampe erwärmt. Dadurch wird ein Theil der in der Kugel enthaltenen Luft ausgetrieben, und diejenige Luftmenge, welche dafür beim Erkalten der Kugel wieder eintritt, ist vollkommen trocken, weil sie ja erst zwischen den Chlorcalciumstücken hindurchstreichen mußte. Diese Operation wiederholte Rudberg etwa 50 Mal, um auch die letzte Spur von Feuchtigkeit aus der Kugel zu entfernen. Statt dieser Austrocknungsmethode wendete er auch folgende an: Der Apparat mit dem Chlorcalciumrohre wurde mit einer Luftpumpe in Verbindung gebracht, ausgepumpt und dann wieder in die Kugel eingelassen, welche vorher auch durch das Chlorcalcium streichen mußte. Auch diese Operation wurde gegen 50 Mal wiederholt. Die Resultate fielen ganz gleich aus, es mochte nun die eine oder die andere Austrocknungsmethode angewendet worden seyn.

Nachdem die Luft in der Kugel vollständig getrocknet war, wurde sie in einen Siedeapparat gebracht, d. h. in ein Gefäß von der Art, wie das Seite 439 beschriebene, welches man anwendete, um den Siedepunkt des Thermometers zu bestimmen. Nur die Spitze der Röhre ragt oben aus dem Apparate hervor, so daß die ganze Kugel und fast die ganze Röhre von den aus dem

siedenden Wasser aufsteigenden Dämpfen umgeben war. Nachdem man das Sieden des Wassers fast eine Stunde lang unterhalten hatte, konnte man sicher seyn, daß die Luft in der Kugel und in der Röhre wirklich die Temperatur des siedenden Wassers angenommen hatte, und nun wurde die Spitze der Röhre zugeschmolzen.

Nachdem die Kugel erkaltet war, wurde sie auf ein durch ein besonderen Träger gehaltenes Metallschälchen gebracht. Dieses Schälchen hatte ungefähr die Größe und Gestalt eines Uhrglases; es hat in der Mitte eine Oeffnung, durch welche die Röhre hindurchgesteckt wird, so daß die zugeschmolzene Spitze nach unten gerichtet ist und die Kugel auf dem Schälchen ruht. Läßt man die Spitze in ein Gefäß mit Quecksilber eintauchen, so wird, wenn man sie abbricht, das Quecksilber durch die Röhre in die Kugel eindringen und einen Theil derselben ausfüllen, weil die Luftmenge, welche bei der Siedetemperatur die Kugel ganz ausfüllte, jetzt einen kleineren Raum einnimmt. Die noch in der Kugel enthaltene Luft muß aber auf 0° erkaltet werden, und dies geschieht dadurch, daß man schmelzenden Schnee auf das Schälchen bringt. In dem Maaße, als der Schnee wegschmilzt, muß neuer nachgebracht werden. War die Kugel lange genug mit dem schmelzenden Schnee in Berührung, so daß man überzeugt seyn kann, sie habe wirklich die Temperatur von 0° angenommen, so wird, um das Ausfließen des Quecksilbers aus der Kugel zu verhindern, die Spitze noch unter dem Quecksilber mit etwas Wachs verstopft, die Kugel auf die Wage gebracht und das Gewicht des eingedrungenen Quecksilbers bestimmt (es versteht sich, daß man schon vorher das Gewicht der leeren Kugel bestimmt hat). — Wir wollen annehmen, man habe das Gewicht des eingedrungenen Quecksilbers gleich 41,722 Gramm gefunden. —

Dieses Quecksilber nimmt den Raum ein, um welchen sich die Luft, welche bei der Siedehitze die Kugel ausfüllte, beim Erkalten bis auf 0° zusammenzog. Die Röhre wurde nun am Ende so umgebogen, daß sie in ein Töpfchen mit Quecksilber gebracht werden konnte, durch sorgfältiges Auskochen der Kugel alle Luft aus derselben entfernt, so daß sie sich beim Erkalten ganz mit Quecksilber füllen mußte. Nach dem Erkalten wurde sie noch mit Schnee umgeben, so daß sie sich mit Quecksilber von 0° füllen mußte. Durch eine abermalige Wägung wird das Gewicht des Quecksilbers bestimmt, welches bei 0° die ganze Kugel ausfüllt. — Es betrage 173,443 Gramme.

Da nach dem Abbrechen der Spitze 41,722 Gramme Quecksilber eingedrungen waren, während die ganze Kugel 173,443 Gramme Quecksilber hält, so ist klar, daß die noch in der Kugel zurückgebliebene Luft, welche sie bei 100° ganz ausfüllt, jetzt bei 0° einen Raum einnimmt, welcher so groß ist, daß ein gleiches Volumen Quecksilber 173,443 — 41,722, also 131,721 Gramme wiegt. Bei einer Temperaturerhöhung von 0° bis 100° dehnt sich also die Luft im Verhältniß von 131,721 zu 173,443, oder im Verhältniß von 1 zu 1,34 . . . aus.

Diese Zahl ist offenbar zu klein, und dies rührt daher, daß die nöthigen Correctionen wegen des veränderten Luftdrucks noch anzubringen sind.

In dem Moment, in welchem die Spitze der Röhre mit Wachs verklebt wurde, war der Barometerstand 77,58 cm, das Quecksilberniveau in der Kugel stand aber 3,81 cm über dem Quecksilber im Gefäße, der Druck also, welchen die im oberen Theile der Kugel abgesperrte Luft wirklich auszuhalten hat, ist gleich 77,58 — 3,81 = 73,77 cm. Im Augenblicke, wo man die Spitze zuschmolz, war der Barometerstand 76,36 cm. Wenn nun die Luft nach ihrem Erkalten auf 0° demselben Drucke ausgesetzt wäre, so würde sie einen kleineren Raum einnehmen, als der ist, den sie wirklich einnimmt, und zwar müßte sie sich noch im Verhältniß von 76,36 zu 73,77 zusammenziehen. Ein gleiches Volumen Quecksilber würde also nicht 131,721, sondern

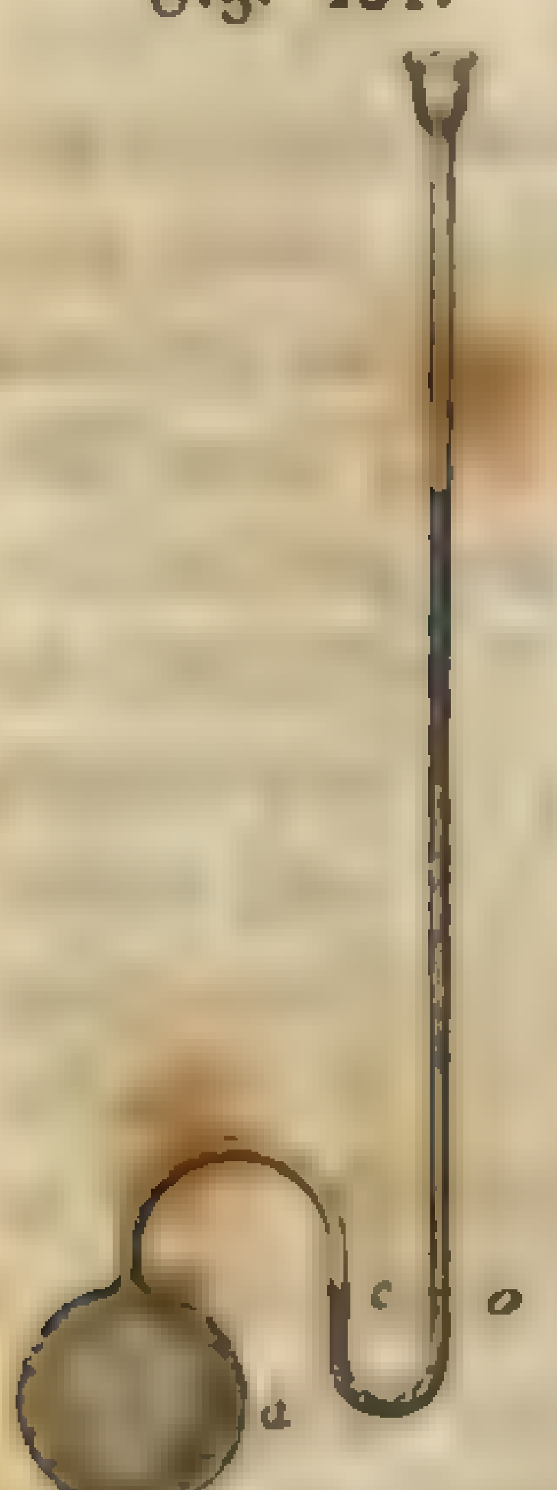
$$131,721 \frac{7377}{7636} = 127,26$$ Gramme wiegen. Bei einer Temperaturerhöhung von 0° bis 100° dehnt sich also die Luft, wenn sich der Druck nicht ändert, im Verhältniß von 127,25 zu 173,443, oder im Verhältniß von 1 zu 1,363 aus; der Ausdehnungscoëfficient der Luft wäre demnach 0,363.

Wir haben jedoch hier nur die scheinbare Ausdehnung der Luft bestimmt, indem die Ausdehnung des Glases unberücksichtigt blieb. Um den wahren Ausdehnungscoëfficienten zu finden, müssen wir zu dem eben gefundenen noch den Coëfficienten der kubischen Ausdehnung des Glases hinzuaddiren, welcher, wie wir gesehen haben, 0,0025 ist. Der wahre Ausdehnungscoëfficient der Luft ist demnach 0,3655.

Die bei dieser Berechnung zu Grunde gelegten Data sind den von Rudberg selbst angestellten Beobachtungen entnommen, und zwar sind es diejenigen, welche den größten Werth für den Ausdehnungscoëfficienten der Luft geben. Der kleinste Werth, den er auf diese Weise gefunden hat, ist 0,3636 und das Mittel aus seinen Versuchen 0,3646.

Die Wichtigkeit des Gegenstandes veranlaßte Rudberg, später noch eine Reihe von Versuchen anzustellen, um den Ausdehnungscoëfficienten der Luft zu bestimmen, welche auf einen ganz anderen Principe beruhen, nämlich darauf, daß, wenn man die Luft an der Ausdehnung hindert, während man sie erwärmt, der Druck in demselben Verhältnisse zunimmt, in welchem sich außerdem das Volumen vermehrt hätte.

Fig. 451.



Die Kugel *a*, Fig. 451, sey mit trockner Luft gefüllt und dieselbe durch das Quecksilber in der gebogenen Röhre abgesperrt. Wenn man die Kugel *a* in schmelzenden Schnee gebracht und dadurch die Luft in derselben auf 0° erkaltet hat, so kann man leicht so viel Quecksilber noch bei *b* in die Röhre eingießen, daß es in dem kürzeren Schenkel bis zur Höhe *c* reicht. Auf dem Brette, auf welchem die Glasröhre befestigt ist, sey durch *c* eine horizontale Linie gezogen, und diese sey der Nullpunkt einer Theilung, welche sich hinter dem längeren Schenkel befindet. Wenn nun die Kugel auf 0° erkaltet ist und das Quecksilber bei *c*

steht, so beobachtet man den Barometerstand b und die Anzahl der Millimeter h, um welche das Quecksilber in dem längeren Schenkel über dem Nullpunkte der Scala steht. Der Druck, den die Luft in der Kugel auszuhalten hat, ist dadurch bestimmt, er ist $b + h$.

Nun entfernt man den Schnee und erwärmt die Kugel nach und nach; die Luft dehnt sich aus, das Quecksilber sinkt von c herab und steigt in den anderen Schenkel; um die Luft wieder auf ihr voriges Volumen zu comprimiren, muß man von Neuem Quecksilber bei b eingießen. Gesetzt, man habe die Kugel bis 100° erwärmt und bei b nach und nach so viel Quecksilber eingegossen, daß es in dem kürzeren Schenkel wieder bei c steht; man beobachtet wieder das Barometer, seine Höhe sey b' und die Höhe der Quecksilbersäule, welche im langen Schenkel über dem Nullpunkte der Scala steht, sey h', so ist nun der Druck, welchen die abgesperrte Luft auszuhalten hat, $b' + h'$.

Bei unverändertem Volumen übt also ein gewisses Luftquantum bei 0° einen Druck $b + h$ aus, bei 100° aber einen Druck von $b' + h'$. Bei unverändertem Drucke würde sich demnach die Luft im Verhältniß von $b + h$ zu $b' + h'$ ausgedehnt haben.

Es sey z. B. $b = 758^{mm}$, $h = 7^{mm}$, $b' = 757^{mm}$, $h' = 284^{mm}$, so ist der Druck, welchen die Luft bei 0° aushält, 765^{mm}, während sie bei unverändertem Volumen bei 100° einen Druck von 1042^{mm} aushält; bei einer Temperaturerhöhung von 0° bis 100° dehnt sich demnach die Luft im Verhältniß von 765 zu 1024, oder von 1 zu 1,362. Der Ausdehnungscoëfficient wäre demnach, wenn man die Ausdehnung des Glases berücksichtigt, $0{,}362 + 0{,}0025 = 0{,}3645$.

Der eben beschriebene Apparat ist in der That mehr für einen Vorlesungsversuch geeignet, als genaue Resultate zu geben. Zu diesem Zwecke muß er etwas abgeändert werden. Eine Beschreibung des Apparates, wie ihn Rudberg wirklich anwendete, würde uns aber zu weit führen. Nach dieser Methode fand Rudberg als Mittel aus mehreren wenig von einander abweichenden Versuchen 0,36457.

Magnus und Regnault haben gleichfalls den Ausdehnungscoëfficienten der Luft durch eine Reihe sehr genauer Versuche bestimmt. Beide haben ganz unabhängig gearbeitet, Keiner wußte, daß der Andere gleichzeitig mit derselben Untersuchung beschäftigt sey. Nach der ersten der beiden Rudberg'schen Methoden erhielt Magnus keine constanten Resultate, nach der zweiten aber war der größte Werth, den er für den Coëfficienten fand, 0,367899, der kleinste 0,365032, das Mittel aus allen 0,366508. — Regnault wendete vier verschiedene Methoden an, die beiden Rudberg'schen und zwei andere auf gleichen Principien beruhende. Nach jeder Methode machte er eine große Menge von Versuchen, die ein fast gleiches Resultat gaben. Nach der einen Methode fand er als Mittel 0,36629, nach der zweiten 0,36633, nach der dritten 0,36678, nach der vierten 0,36665. Das Mittel aus diesen vier Werthen ist 0,3665. Die Endresultate von Magnus und Regnault stimmen vollkommen überein, und somit kann wohl kaum mehr ein Zweifel

bleiben, daß 0,3665 der wahre Werth für den Ausdehnungscoëfficienten der Luft ist.

Nimmt man den Werth 0,36666 ...., welcher von dem eben angegebenen Mittel nur um 0,000166 differirt, für den Ausdehnungscoëfficienten der Luft, so kann man ihn durch den sehr einfachen Bruch $^{11}/_{30}$ ausdrücken, welcher in vielen Rechnungen sehr bequem anzuwenden ist.

Regnault hat die Versuche über die Ausdehnung der Luft durch die Wärme auch bei einem Luftdrucke angestellt, welcher größer und kleiner war als der Druck der Atmosphäre, und fand, daß der Ausdehnungscoëfficient mit wachsendem Drucke größer wird; er wächst von 0,3648 bis 0,3709, wenn der Druck von 110^{mm} bis 3655^{mm} steigt.

Ebenso fanden Magnus und Regnault durch die genauesten Versuche, daß auch für verschiedene Gase der Ausdehnungscoëfficient nicht ganz gleich ist; es fanden

	Regnault.	Magnus.
Wasserstoffgas . . .	0,36613 . . .	0,36556
Kohlenoxydgas . . .	0,36688	
Kohlensäure	0,37099 . .	0,36909
Stickstoffoxydulgas . .	0,37195	
Cyangas	0,38767	
Schweflige Säure . .	0,39028 . .	0,38562.

Die Versuche beider Physiker thun dar, daß der Ausdehnungscoëfficient derjenigen Gase, welche zu Flüssigkeiten comprimirbar sind, größer ist als der der Luft, und zwar um so größer, je leichter sie flüssig werden.

Somit weisen diese Versuche nach, daß die früher als allgemein wahr angenommenen Sätze, daß der Ausdehnungscoëfficient für alle Gase und unter jedem Drucke gleich sey, nicht ganz streng wahr ist. Deshalb aber müssen die Gesetze, wie Regnault sehr richtig bemerkt, nicht aus der Wissenschaft verbannt werden; sie gelten für einen vollkommenen Gaszustand, dem sich die Gase, welche uns die Natur liefert, bald mehr, bald weniger nähern, je nachdem sie bei der Temperatur und dem Drucke, welchem sie ausgesetzt sind, dem Punkte des Ueberganges in einen anderen Aggregatzustand näher oder ferner liegen.

Ist einmal der Ausdehnungscoëfficient der Luft bekannt, so kann man die Ausdehnung der Luft selbst benutzen, um Temperaturen zu bestimmen. Ein Luftthermometer läßt sich nicht füglich wie ein gewöhnliches Quecksilberthermometer einrichten, so daß man die Temperatur unmittelbar ablesen kann. Es ist dies schon deshalb nicht möglich, weil der Stand eines graduirten Luftthermometers (eines solchen etwa, wie es Gay-Lussac zur Bestimmung des Ausdehnungscoëfficienten anwendete) sich schon ändert, sobald nur der Barometerstand variirt, wenn auch die Temperatur dieselbe geblieben ist. Die Bestimmung einer Temperatur mit Hülfe eines Luftthermometers erfordert jederzeit einen besonderen Versuch. In der Regel wendet man ein Verfahren an, welches im Wesentlichen

mit der ersten der beiden Methoden übereinstimmt, die Rudberg zur Ermittelung des Ausdehnungscoëfficienten anwendete, d. h. man wendet ein mit einer feinen Spitze versehenes und mit trockner Luft gefülltes Reservoir an, welches man an den Ort bringt, dessen Temperatur gemessen werden soll. Man bestimmt die Quecksilbermenge, welche beim Erkalten durch die feine Spitze in das Gefäß eindringt, alsdann diejenige, welche das ganze Volumen des Gefäßes ausfüllt. Aus dem Verhältnisse dieser beiden Quecksilbermengen ergiebt sich der Temperaturunterschied. Hier ist die Temperaturdifferenz gesucht und der Ausdehnungscoëfficient bekannt, während Rudberg bei seinen Versuchen umgekehrt diesen Coëfficienten suchte, aber die Temperaturdifferenz kannte.

Wenn man dieselbe Temperatur gleichzeitig mit dem Quecksilberthermometer und dem Luftthermometer mißt, so erhält man zwischen 0° und 100° vollkommen gleiche Angaben; über 100° hinaus aber giebt das Quecksilberthermometer stets höhere Temperaturen an. Es folgt daraus, daß sich das Quecksilber von 0° bis 100° gleichförmig, von 100° an aber in einem stärkeren Verhältnisse ausdehnt.

Nach den Versuchen von Dulong und Petit sind folgende mit dem Luft- und dem Quecksilberthermometer gemessenen Temperaturen identisch:

Luftthermometer . . .	100, 149, 197, 245, 293, 350
Quecksilberthermometer .	100, 150, 200, 250, 300, 360.

Nach Rudberg sind folgende die entsprechenden Temperaturen beider Thermometer:

Luftthermometer	100, 198,8 294,7
Quecksilberthermometer . .	100, 200, 300.

Nach Magnus:

Luftthermometer	100, 197,5 294,5
Quecksilberthermometer . .	100, 200, 300.

Nach den schon oben angeführten Versuchen von Regnault gelten die für ein Quecksilberthermometer erhaltenen Resultate nicht für jedes andere, weil sie aufhören, bei höheren Temperaturen vergleichbar zu seyn, wenn sie aus verschiedenen Glassorten gemacht sind. Bei genauen Versuchen sollte man deshalb die Bestimmung höherer Temperaturen stets mit dem Luftthermometer machen, da bei dessen Angaben, wegen der Größe der Ausdehnung der Luft, die Fehler verschwinden, welche durch die Unregelmäßigkeiten und die Ausdehnung der Glashülle veranlaßt werden.

Bei dem, was oben über das specifische Gewicht der Körper gesagt wurde, war der Einfluß der Wärme ganz außer Acht gelassen worden. Bei festen und flüssigen Körpern ist auch in der That die Ausdehnung innerhalb der Temperaturgränzen, zwischen welchen man die zur Bestimmung der Dichtigkeit nöthigen Operationen vornimmt, so gering, daß man, wo nicht größere Genauigkeit nöthig ist, den Wärmeeinfluß ganz vernachlässigen kann.

Auf die Dichtigkeit der Gase aber hat die Wärme einen so bedeutenden Ein-

fluß, daß man ohne ihre Berücksichtigung nicht einmal angenähert richtige Resultate erhält. Aus diesem Grunde kann erst hier von der Bestimmung der Dichtigkeit der Gase die Rede sein.

Dichtigkeit der Luft. Um die Dichtigkeit der Luft zu bestimmen, wen- 158
det man einen Ballon von 8 bis 10 Liter Inhalt an, welcher mit einer Fassung versehen ist, die man auf eine Luftpumpe schrauben, und in welcher sich ein Hahn befindet, den man schließen kann, wenn man evacuirt hat (Fig. 452). Die Capacität eines solchen Ballons findet man am besten dadurch, daß man genau das Gewicht des Wassers ausmittelt, welches er faßt. Gesetzt, ein solcher Ballon, dessen Inhalt gerade 10 Liter beträgt, wiege, mit trockner Luft gefüllt, 12,99 Gramme mehr, als wenn er luftleer gemacht ist, so würde daraus folgen, daß das specifische Gewicht der Luft 0,001299 ist; denn 10 Liter wiegen ja 10 Kilogr., oder, was dasselbe ist, 10000 Gramme.

Fig. 452.



Ein solches Resultat würde der Versuch jedoch nur dann geben, wenn er bei einer Temperatur von 0° und bei einem Barometerstande von 760mm angestellt worden wäre, und wenn man den Ballon wirklich absolut luftleer gemacht hätte. Wenn aber diese Bedingungen nicht erfüllt sind, so läßt sich dies Resultat aus den Beobachtungen ableiten.

Nehmen wir an, ein Ballon von 10 Liter Inhalt wiege bei einer Temperatur von 18° C. und bei einem Barometerstande von 754mm 12,01 Gr. mehr, als wenn er so weit leer gepumpt ist, daß die Barometerprobe nur noch 5mm zeigt. Da 5 gleich $\frac{66}{1000}$ von 754 ist, so folgt, daß die Dichtigkeit der Luft, welche jetzt noch im Ballon zurückgeblieben ist, 0,0066 von der Luftmenge ist, welche den Ballon vor dem Auspumpen anfüllte; von dieser Luftmenge wurden also 0,9934 ausgepumpt, und diese ausgepumpte Luft wiegt 12,01 Gramme. Die ausgepumpte Luftmenge aber verhält sich zu der Menge der gesammten Luft im Ballon offenbar wie 0,9934 zu 1, und daraus ergiebt sich dann, daß das Gewicht der Luft, welche bei 18° C. und einem Barometerstande von 754mm den Ballon füllt, 12,09 Gramme wiegt; es waren also nach dem Auspumpen noch 0,08 Gramme Luft im Ballon zurückgeblieben.

Wenn bei übrigens unveränderten Umständen der Barometerstand nicht 754, sondern 760mm betragen hätte, so würde das Gewicht der im Ballon enthaltenen Luft im Verhältniß von 754 zu 760 mehr betragen haben; bei 18° C. und einem Barometerstande von 760mm wiegt demnach die in unserm Ballon enthaltene Luft $12{,}09 \, \frac{760}{754} = 12{,}19$ Gramme.

Nun bleibt nur noch übrig, auf 0° zu reduciren, d. h. zu berechnen, wie viel die Luft im Ballon wiegen würde, wenn die Temperatur von 18° auf 0°

fiele. Bei einer Temperaturerhöhung von 0° auf 18° dehnt sich die Luft im Verhältniß von 1 zu 1 + 0,00366 . 18, d. h. im Verhältniß von 1 zu 1,0659 aus; bei einer Temperaturerniedrigung von 18° bis 0° wird also die Luft im Verhältniß von 1 : 1,0659 dichter; wir finden also das Gewicht der Luft, welche den Ballon bei 760mm Barometerstand und einer Temperatur von 0° füllt, wenn wir die Zahl 12,19 mit 1,0659 multipliciren; es ergiebt sich bei Ausführung der Rechnung 12,99 für die gesuchte Zahl. Ein Kubikcentimeter Luft wiegt demnach bei 0° und 760mm Barometerstand 0,001299 Gramme; unter diesen Umständen ist also die Dichtigkeit der Luft 770mal geringer als die des Wassers.

Ist einmal die Dichtigkeit der Luft für 0° bekannt, so kann man sie für jede andere Temperatur berechnen, oder, mit anderen Worten, wenn man weiß, wie viel ein Kubikcentimeter Luft bei 0° wiegt, so kann man berechnen, wie viel es bei jeder anderen Temperatur wiegen muß. Wenn der Barometerstand sich nicht ändert, so dehnt sich die Luft für eine Temperaturerhöhung von 0° bis t° im Verhältniß von 1 zu 1 + 0,00366 t aus; ihre Dichtigkeit nimmt also bei dieser Temperaturerhöhung im Verhältniß von 1 + 0,00366 t zu 1 ab. Wenn also bei 0° ein Kubikcentimeter Luft 0,001299 Gr. wiegt, so wird dasselbe Volumen Luft bei t Grad $\frac{0,001299}{1 + 0,00366\, t}$ Gramme wiegen. Auf diese Weise ist die folgende Tabelle berechnet, welche das Gewicht n von 1 Kubikcentimeter trockner Luft für einen Barometerstand von 760mm und die von 10 zu 10° fortschreitenden Temperaturen von 0° bis 290° in Milligrammen ausgedrückt enthält.

t	n	t	n	t	n
0	1,299mg	100	0,953mg	200	0,751mg
10	1,253	110	0,927	210	0,735
20	1,211	120	0,903	220	0,720
30	1,171	130	0,881	230	0,706
40	1,134	140	0,860	240	0,692
50	1,099	150	0,839	250	0,680
60	1,066	160	0,820	260	0,667
70	1,035	170	0,802	270	0,654
80	1,006	180	0,784	280	0,642
90	0,978	190	0,767	290	0,631

Dichtigkeit der Gase. Wenn man die Dichtigkeit irgend eines Gases 159
bei der Temperatur von 0° und einem Drucke von 760mm mit d bezeichnet, mit d' aber die Dichtigkeit desselben Gases bei einer Temperatur von t^0 und einem Drucke h, so ist es leicht, die Beziehung zu finden, welche zwischen den beiden Tensionen, den beiden Temperaturen und den beiden Dichtigkeiten stattfindet. Wenn bei unverändertem Drucke die Temperatur von 0° auf t^0 steigt, wird 1 Kubikcentimeter Gas sich bis zu $1 + 0{,}00366\,t$ ausdehnen; wenn außerdem noch der Druck von 760mm in h übergeht, so wird das Volumen jener Gasmenge

$$\frac{(1 + 0{,}00366\,t)\,760}{h}.$$

Die Dichtigkeit des Gases in beiden Fällen verhält sich aber umgekehrt wie die Volumina, also

$$\frac{d'}{d} = \frac{h}{760\,(1 + 0{,}00366\,t)}.$$

Es folgt daraus, daß die Dichtigkeiten zweier verschiedener Gase stets in demselben Verhältnisse zu einander stehen, so lange beide gleiche Temperaturen haben und gleichem Drucke ausgesetzt sind. Bei der Temperatur der Rothglühhitze also, wie bei 0°, bei einem Drucke von 10 Atmosphären wie bei dem einer einzigen, wird die Dichtigkeit des Wasserstoffgases immer 0,0688, also ungefähr $^1/_{15}$ von der Dichtigkeit der in gleichen Verhältnissen sich befindenden Luft seyn. Es bleibt dies so lange wahr, als die Gase dem Mariotte'schen Gesetze folgen.

Dies giebt nun auch ein Mittel an die Hand, um die Dichtigkeit von Gasen zu bestimmen; man vergleicht nur ihr Gewicht mit dem Gewichte eines gleichen Volumens Luft von derselben Tension und derselben Temperatur.

Es sey z. B. das Gewicht eines Ballons mit trockner Luft	= 192 Gramme
Gewicht des ausgepumpten Ballons	= 181 »
Gewicht der ausgepumpten Luft	= 11 Gramme.

Es sey ferner das Gewicht des mit kohlensaurem Gase gefüllten Ballons	= 197,77 Gr.
Davon abgezogen das Gewicht des leeren Ballons . .	= 181 »
Bleibt für das Gewicht des kohlensauren Gases, welches der Ballon faßt	= 16,77 Gr.

Die Dichtigkeit des kohlensauren Gases ist demnach $\frac{16{,}77}{11}$, oder 1,524, wenn die der Luft = 1 ist. Dies Resultat bedarf durchaus keiner Correction wegen der Wärme und des Drucks, vorausgesetzt, daß die Luft und das kohlensaure Gas den Ballon bei gleichem Barometerstande füllten und vollkommen gleiche Temperatur hatten.

Um einen Ballon mit verschiedenen Gasarten zu füllen, wendet man eine Glocke *c* an, welche oben mit einem Hahne *d*, Fig. 453, versehen ist. Die Glocke wird auf Quecksilber gesetzt, der Hahn *d* geöffnet und darüber eine Handluftpumpe aufgeschraubt, mittelst welcher man die Glocke luftleer machen kann. Je mehr man evacuirt, desto mehr steigt das Quecksilber in der Glocke; wenn sie ganz mit Quecksilller gefüllt ist, wird der Hahn *d* geschlossen, die Luftpumpe ab- und statt deren ein evacuirter Ballon *g* aufgeschraubt. Man läßt nun das entwickelte Gas durch ein Chlorcalciumrohr *a* und die gebogene Glasröhre *b* in die Glocke *c* treten. Wenn die Glocke *c* mit Gas gefüllt ist, öffnet man die Hähne *d* und *e*, das Gas verbreitet sich in den Ballon, zugleich aber steigt das Quecksilber in *c* wieder in die Höhe. Sobald es in den oberen Theil von *c* gestiegen ist, schließt man wieder einen der Hähne, bis sich die Glocke *c* von Neuem mit Gas gefüllt hat. Später kann man beide Hähne fortwährend offen lassen. Man fährt mit der Gasentwickelung so lange fort, bis die Kugel und die Glocke ganz mit Gas gefüllt sind und der Quecksilberspiegel in und außer der Glocke gleich hoch steht. Sobald dies der Fall ist, schließt man den Hahn *e* und schraubt den Ballon ab, um ihn zu wiegen.

Fig. 453.



In der folgenden Tabelle findet man die Dichtigkeit der wichtigsten Gasarten nach den besten Beobachtungen:

Namen der Gase.	Beobachtete Dichtigkeit.	Gewicht von 1 Liter bei 0° u. 760mm Druck in Grammen.	Namen der Beobachter.
Jodwasserstoffgas . .	4,4288	5,7719	Gay-Lussac.
Chlor	2,4216	3,2088	Gay-Lussac u. Thénard.
Schweflige Säure . .	2,1930	2,8489	H. Davy.
Cyangas	1,8197	2,3467	Gay-Lussac.
Stickoxydulgas . . .	1,5269	1,9752	Colin.
Kohlensäure	1 5245	1,9805	Berzelius u. Dulong.
Chlorwasserstoff . . .	1,2474	1,6205	Biot u. Arago.
Schwefelwasserstoff . .	1,1912	1,5475	Gay-Lussac u. Thénard.
Sauerstoff	1,1026	1,4323	Berzelius u. Dulong.
Stickoxydgas	1,0388	1,3495	Bérard.
Stickgas	0,9757	1,2675	Berzelius u. Dulong.
Kohlenoxydgas . . .	0,9769	1,2431	Cruikshank.
Ammoniakgas . . .	0,5967	0,7752	Biot u. Arago.
Wasserstoffgas . . .	0,0688	0,0894	Berzelius u. Dulong.

Bei den in der zweiten Columne angegebenen Zahlen ist die Dichtigkeit der atmosphärischen Luft zur Einheit genommen.

Zweites Kapitel.

Veränderung des Aggregatzustandes.

Schmelzen. Man sieht leicht, daß das Schmelzen, d. h. der Ueber- 160
gang eines Körpers aus dem festen Zustande in den flüssigen, ein durch die Wärme hervorgebrachtes Phänomen ist, und daß keine andere Kraft in der Natur im Stande ist, diese Wirkung hervorzubringen. Man kann Eis zerbrechen und zu Pulver stoßen, man mag darauf alle mechanischen und sonsti-

gen Kräfte wirken lassen, es wird nicht in Wasser verwandelt, wenn nicht die Wärme auf dasselbe einwirkt. Ebenso verhält es sich mit dem Wachs, dem Blei u. s. w. Ob also ein Körper fest oder flüssig ist, hängt einzig und allein von seiner Temperatur ab. In einer anderen Entfernung von der Sonne würde die Erde einen ganz anderen Anblick darbieten; in größerer Nähe würden die meisten Metalle beständig flüssig, in größerer Entfernung hingegen würde das Meer eine feste Masse seyn, es gäbe kein fließendes Wasser und wahrscheinlich keine Flüssigkeit mehr, deren Circulation die Phänomene des Thier- und Pflanzenlebens hervorbringt.

Einige sind leicht schmelzbar und gehen schon bei niedrigen Temperaturen in den flüssigen Zustand über, z. B. Eis, Phosphor, Schwefel, Wachs, Fett u. s. w.; andere bedürfen zum Schmelzen schon höherer Temperaturen, wie Zinn, Blei u. s. w.; endlich giebt es Körper, welche erst bei sehr hohen Temperaturen schmelzen, wie Gold, Eisen, Platin. Die Kohle zu schmelzen, ist bis jetzt noch nicht gelungen, wenngleich mehrere Physiker behaupten, an den Kanten von Diamanten, die sie dem Versuche unterworfen hatten, Spuren von Schmelzung bemerkt zu haben.

Es ist wahrscheinlich, daß bei hinlänglich gesteigerter Temperatur alle Körper zum Schmelzen gebracht werden könnten, vorausgesetzt, daß sie nicht schon vorher durch die Hitze chemisch zerlegt werden, wie dies z. B. bei vielen organischen Körpern der Fall ist.

Wenn ein Körper aus dem festen in den flüssigen Zustand übergeht, beobachtet man zwei merkwürdige Phänomene. Erstens findet der Uebergang aus dem festen in den flüssigen Zustand für jede Substanz stets bei derselben Temperatur statt, d. h. jede Substanz hat einen bestimmten Schmelzpunkt; und zweitens ändert sich während des Schmelzens die Temperatur nicht, wie viel Wärme auch in den Körper eindringen mag. Es wird also beim Schmelzen Wärme absorbirt, welche sich gleichsam im Körper versteckt, ohne auf das Gefühl oder das Thermometer weiter zu wirken.

Die folgende Tabelle enthält die Schmelzpunkte verschiedener Substanzen.

Gehämmertes englisches Eisen	1600	Grad
Weiches französisches Eisen	1500	»
Der strengflüssigste Stahl	1400	»
Der leichtflüssigste Stahl	1300	»
Graues Gußeisen, zweite Schmelzung . .	1200	»
Leichtflüssiges weiches Gußeisen	1050	»
Gold	1250	»
Silber	1000	»
Bronze	900	»

Antimon	432	Grad.
Zink	360	»
Blei	334	»
Wismuth	256	»
Zinn	230	»
Legirung aus 5 Theilen Zinn, 1 Blei	194	»
Schwefel	109	»
Legirung aus 8 Wismuth, 5 Blei, 3 Zinn	100	»
» » 4 Wismuth, 1 Blei, 1 Zinn	94	»
Natrium	90	»
Kalium	58	»
Phosphor	43	»
Stearinsäure	70	»
Weißes Wachs	68	»
Gelbes Wachs	61	»
Stearin	49	bis 43 Grad.
Wallrath	49	Grad.
Essigsäure	45	»
Seife	33	»
Eis	0	»
Terpentinöl	—10	»
Quecksilber	—39	»

Binden der Wärme beim Uebergang aus dem festen in den flüssigen Zustand. 161 Im Jahre 1763 hat Black die Absorption der latenten Wärme beim Schmelzen, eine der wichtigsten Fundamentalwahrheiten der Wärmelehre, nachgewiesen. Von diesem Binden der Wärme beim Schmelzen überzeugt man sich am besten, wenn man 1 Pfund Schnee von 0° und 1 Pfund Wasser von 79° mit einander mischt. Der Schnee schmilzt, und man erhält 2 Pfund Wasser von 0°. Alle Wärme also, welche in dem heißen Wasser enthalten war, ist für das Thermometer spurlos verschwunden, sie ist lediglich dazu verwendet worden, um Schnee von 0° in Wasser von 0° zu verwandeln.

Bezeichnen wir die Wärmemenge, welche nöthig ist, um die Temperatur von einem Pfund Wasser um 1° zu erhöhen, mit 1, so ist also die Wärmemenge, welche bei der Schmelzung von einem Pfund Schnee oder Eis gebunden wird, gleich 79.

Damit der Versuch ein richtiges Resultat liefere, muß er mit einiger Vorsicht angestellt werden; vor allen Dingen muß die Mischung rasch vor sich gehen, und man muß sie an einem Orte vornehmen, an welchem die Temperatur der Luft 0° oder doch nur wenig von 0° verschieden ist, damit man sicher seyn kann, daß nicht Wärme aus der Umgebung eindringt und einen Theil des Schnees schmilzt, oder daß nicht umgekehrt ein Theil der Wärme

des Wassers an die kältere Umgebung abgegeben wird. Mit dicken Eisstücken gelingt der Versuch nicht, weil sie dem warmen Wasser nicht Berührungspunkte genug bieten, und weil deshalb die Schmelzung des Eises zu langsam vor sich geht, also jedenfalls ein Theil der Wärme des Wassers an die Umgebung verloren wird.

Nach neueren mit größter Genauigkeit angestellten Versuchen, welche de la Provostaye und Desains über die Schmelzungswärme des Eises angestellt haben, ist 79,25 für die bisher nach den calorimetrischen Versuchen von Lavoisier und Laplace angenommene Zahl 75 zu setzen.

So wie bei der Schmelzung des Eises und des Schnees Wärme gebunden wird, so ist dies auch beim Schmelzen anderer Körper der Fall. Folgendes sind die Werthe der latenten Wärme für einige Körper nach Irvine's Bestimmungen:

Schwefel	80
Blei	90
Wachs	97
Zink	274
Zinn	278
Wismuth	305.

Die Bedeutung dieser Zahlen ist leicht einzusehen; während ein Pfund Schnee zu seiner Schmelzung 79 Wärmeeinheiten, d. h. 79mal so viel Wärme nöthig hat, als erforderlich ist, um die Temperatur von einem Pfund Wasser um 1° zu erhöhen, sind zur Schmelzung von einem Pfund Schwefel 80, zur Schmelzung von einem Pfund Blei, Wachs, Zink u. s. w. 90, 97, 274 solcher Wärmeeinheiten nöthig.

So wie beim Schmelzen eines festen Körpers Wärme gebunden wird, so findet auch eine Wärmebindung Statt, wenn ein fester Körper durch Auflösung in den flüssigen Zustand übergeführt wird; man kann sich davon leicht überzeugen, wenn man ein fein gepulvertes, leicht lösliches Salz, etwa Salpeter, in Wasser wirft und die Auflösung durch Umrühren befördert; die Temperatur des Wassers wird dabei um einige Grade sinken.

Wenn Schnee oder gestoßenes Eis etwa von 0° und Kochsalz von 0° gemengt werden, so verbinden sie sich zu einer flüssigen Salzlösung; dabei sinkt die Temperatur mehr und mehr, weil ja durch das Flüssigwerden zweier vorher fester Körper viel Wärme gebunden wird. Auf diesem Princip beruhen die sogenannten Kältemischungen, die wir alsbald näher betrachten werden.

Gerade so, wie in dem eben angeführten Beispiele die Mischung des Salzes mit dem Schnee leichtflüssiger ist als jeder der Bestandtheile, so schmilzt auch kohlensaures Kali und kohlensaures Natron zusammen leichter als jeder dieser Körper für sich; eine Legirung von 8 Wismuth, 5 Blei und 3 Zinn (Rose's Metallgemisch) hat einen tiefern Schmelzpunkt als jedes die-

ser Metalle einzeln genommen. In der Chemie findet man eine Menge Fälle dieser Art.

Folgende sind die gewöhnlichsten Kältemischungen; die Temperaturerniedrigung, welche man durch sie hervorbringen kann, ist bei jeder angegeben.

Gepulvertes Glaubersalz, mit Salzsäure übergossen			von + 10° bis — 17° C.,
5	Gewichtstheile	Salmiak	von + 10° bis — 12°,
5	»	Salpeter	
19	»	Wasser	
1	»	Kochsalz	von 0° bis — 17,7°,
3	»	Schnee	
3	»	salzsaurer Kalk	von 0° bis — 28°,
2	»	Schnee	
1	»	verdünnte Schwefelsäure	von — 7° bis — 51°.
1	»	Schnee	

Um mit solchen Mischungen bedeutende Kältegrade hervorzubringen, muß man möglichst große Quantitäten, wenigstens 2 bis 3 Pfunde der zu mischenden Substanzen anwenden, und muß die Salze fein pulvern, damit die Auflösung rasch vor sich gehen kann. Das Gefäß, in welchem man die Mischung macht, muß von schlecht leitenden Substanzen umgeben seyn, damit nicht von außen her Wärme zugeführt wird.

Um sehr hohe Kältegrade zu erreichen, muß man die zu mischenden Substanzen selbst vor der Mischung möglichst erkalten.

Die Temperatur von — 17,7°, die man erhält, wenn man 1 Theil Kochsalz mit 3 Theilen Schnee mischt, ist der Nullpunkt des Fahrenheit'schen Thermometers.

Statt des oben angegebenen salzsauren Kalks darf man kein Chlorcalcium nehmen; der salzsaure Kalk ist freilich nichts Anderes als Chlorcalcium, welches mit Krystallwasser verbunden ist; wollte man wasserfreies Chlorcalcium zu einer Kältemischung anwenden, so würde es erst soviel Wasser aufnehmen, als nöthig ist, um den salzsauren Kalk zu bilden, dabei aber würde Wärme frei werden, wodurch dann nothwendig die erkaltende Wirkung der Mischung sehr vermindert wird.

Fig. 454 — 456 a. f. S. stellen Grubaud's Apparat zur Eisbereitung in $^1/_8$ der natürlichen Größe dar. Das Wasser oder überhaupt die Flüssigkeit, welche man zum Gefrieren bringen will, wird in ein Gefäß gebracht, welches Fig. 456 im Grundriß und zwar von unten gesehen, Fig. 455 aber im Durchschnitt nach den Linien *ab* dargestellt ist. Es besteht aus mehreren schwach conischen Röhren von sehr dünnem Zinn oder von Blech. Diese Röhren münden oben in eine flache cylindrische Kammer, welche mittelst eines aufzuschraubenden Deckels verschlossen wird.

An dem unteren Ende dieses Röhrenapparates ist ein kleiner eiserner

Zapfen angebracht, welcher in eine Höhlung im Boden eines hölzernen Eimers paßt. Ist der Röhrenapparat in den Eimer eingesetzt, so schüttet man den

Fig. 454.



Fig. 455.



Fig. 456.



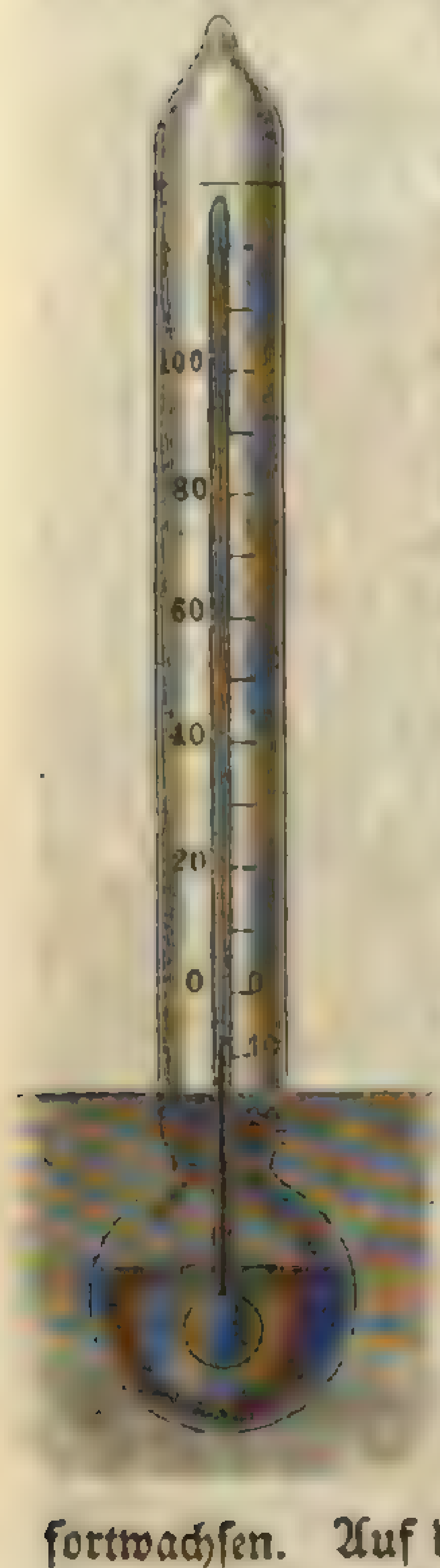
Eimer nahe halb voll Wasser und fügt dann fein krystallisirtes salpetersaures Ammoniak hinzu (auf 1 Pfd. Wasser 1 Pfd. des Salzes). Nun wird rasch der Deckel auf den Eimer aufgesetzt, durch dessen Mitte eine auf dem Deckel des Röhrenapparates befestigte eiserne Axe hindurchgeht, auf welchem endlich eine Kurbel angeschraubt wird, mittelst deren der Röhrenapparat in rasche Rotation gesetzt wird. Die dadurch im Wasser des Eimers hervorgebrachte Bewegung beschleunigt die Auflösung des Salzes, welche eine so bedeutende Wärmebindung zur Folge hat, daß das in den Röhren enthaltene Wasser gefriert.

Beim Uebergange der Körper aus dem flüssigen Zustande in den festen beobachtet man ganz analoge Erscheinungen wie beim Schmelzen; das Erstarren findet nämlich 1) bei einer bestimmten Temperatur Statt, welche mit dem Schmelzpunkte zusammenfällt, und 2) wird alle latente Wärme, welche beim Schmelzen gebunden worden war, beim Festwerden wieder frei.

Eine Erscheinung, welche das Freiwerden der gebundenen Wärme beim Festwerden flüssiger Körper beweist, ist folgende: Im Jahre 1714 hatte Fahrenheit die Beobachtung gemacht, daß unter gewissen Umständen das reine Wasser bis auf — 10 bis — 12° erkaltet werden könne, ohne zu gefrieren. Manchmal findet dies schon an freier Luft Statt; sicherer aber kann man diese Erscheinung hervorrufen, wenn man dafür sorgt, daß das zu erkaltende Wasser

nur einem schwachen Luft- oder Dampfdruck ausgesetzt ist. Man kann dies dadurch bewirken, daß man in einer Glasröhre, welche oben in eine feine Spitze ausgezogen ist, Wasser ins Kochen bringt, und wenn durch die ausströmenden Dämpfe alle Luft ausgetrieben worden ist, die feine Spitze zuschmilzt. Es befindet sich alsdann über dem Wasser in dem Glase nur noch Wasserdampf, welcher bei niedrigen Temperaturen einen sehr geringen Druck ausübt. Wenn man eine solche Vorrichtung in eine Kältemischung von —7° bis —8° einsenkt, so erkaltet das Wasser weit unter den Gefrierpunkt, ohne zu erstarren, eine Erschütterung aber macht, daß die ganze Wassermasse plötzlich gefriert. Wenn man nun dafür gesorgt hat, daß sich im Innern der Glasröhre ein Thermometer befindet, dessen Kugel in das Wasser eingetaucht ist, Fig. 457, und an welchem man die niedrige Temperatur ablesen kann, so beobachtet man, wie dieses Thermometer in dem Augenblick, wo das Wasser fest wird, bis auf 0° steigt.

Fig. 457.



Nach Böttger gelingt dieser Versuch auch schon, wenn man auf das in einem Reagenzröhrchen enthaltene Wasser (in welches das Thermometer eingetaucht ist) eine Oelschicht aufgießt und dann die Vorrichtung in die Kältemischung einsenkt.

Die Schnelligkeit, mit welcher das Festwerden unter diesen Umständen vor sich geht, und das Steigen des Thermometers sind zwei Phänomene, welche sich leicht erklären lassen. Die latente Wärme der ersten Theilchen, welche gefrieren, geht auf die benachbarten, noch flüssigen Theilchen über. Sie werden zwar erwärmt, aber nicht hinreichend, um ihr Erstarren zu verhindern; daher die doppelte Wirkung des Festwerdens und der Erwärmung.

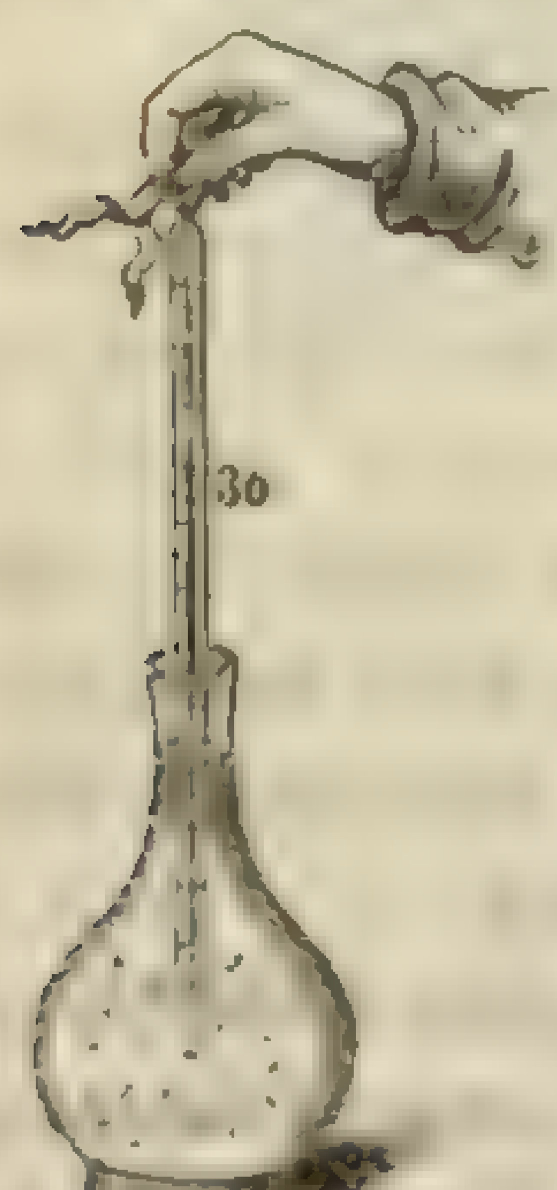
Wenn das Festwerden bei der gewöhnlichen Erstarrungstemperatur vor sich geht, so geschieht es immer nur langsam und ohne Temperaturerhöhung. Wenn z. B. das Wasser bei 0° gefriert, so beginnt das Erstarren in der Regel gleichzeitig an verschiedenen Punkten, und an diesen Stellen geben die zuerst erstarrenden Theilchen ihre latente Wärme an die benachbarten ab, welche dadurch noch einige Augenblicke flüssig erhalten werden. Deshalb beobachtet man dünne Eisblättchen und feine Eisnadeln, welche auf mannigfaltige Weise in der flüssigen Masse gleichsam fortwachsen. Auf diese Weise zerstreut sich die latente Wärme nach und nach; ohne die latente Wärme müßte die ganze flüssige Masse, bis zur Erstarrungstemperatur erkaltet, auf einmal fest werden.

Auch wenn Wasser sich mit irgend einer anderen Substanz zu einem festen Körper verbindet, muß Wärme frei werden. Dadurch erklärt sich die hohe Temperatur, welche entsteht, wenn man gebrannten Kalk mit Wasser übergießt; das Wasser verbindet sich nämlich mit dem kaustischen Kalk zu Kalkhydrat.

Wenn ein Körper aus einer Flüssigkeit herauskrystallisirt, so muß alle Wärme frei werden, die bei seiner Auflösung gebunden wurde; meistens geht aber die Krystallisation nur langsam vor sich, so daß man hier ebenso wenig eine Temperaturerhöhung nachweisen kann, wie bei dem Gefrieren des Wassers unter den gewöhnlichen Umständen; doch läßt sich die bei dem Krystallisiren frei werdende Wärme am Thermometer durch folgendes Verfahren sichtbar machen. Man löse 3 Theile Glaubersalz in 2 Theilen Wasser bei hoher Temperatur auf, gieße dann etwas Oel auf die heiße Auflösung. Bei ruhigem Erkalten krystallisirt das Salz noch nicht aus der Lösung heraus, obgleich sie gewissermaßen für die Temperatur, bis zu welcher sie sich abgekühlt hat, übersättigt ist. Wenn man aber nun die unterdrückte Krystallisation dadurch einleitet, daß man irgend einen festen Körper in die Lösung bringt, so bilden sich plötzlich eine Menge von Glaubersalz-Krystallen, und die Temperatur der Lösung steigt dabei oft um 15 bis 20 Grad.

Die beim Erstarren frei werdende Wärme läßt sich sehr schön mit unterschwefligsaurem Natron in folgender, von Böttger angegebenen Weise zeigen. — Man füllt ein Glaskölbchen, Fig. 458, welches ungefähr 6 bis 7 Unzen Wasser fassen kann, und welches einen etwas weiten Hals hat, mit gestoßenem krystallisirten unterschwefligsauren Natron. Bei vorsichtigem Erhitzen schmilzt das Salz bei einer Temperatur von 45° R. in seinem Krystallwasser. Ist das Salz völlig geschmolzen, so stellt man das Kölbchen auf einen schlechten Wärmeleiter, damit die Erkaltung möglichst langsam vor sich gehe. Nach 2 bis 3 Stunden ist das Kölbchen sammt seinem Inhalte bis auf die Temperatur der umgebenden Luft erkaltet, wie man am besten sehen kann, wenn man in dem geschmolzenen Salze ein Thermometer stehen läßt, ohne daß ein Erstarren des Salzes erfolgt, wenn man das Kölbchen vor Erschütterungen geschützt hat; wenn man aber nun das Kölbchen erschüttert, oder noch besser ein Stückchen des festen Salzes hineinfallen läßt, so geht die Krystallisation durch die ganze Masse auf einmal vor sich, und dabei steigt das Thermometer um 18 bis 20 Grad.

Fig. 458.



Dasselbe Kölbchen mit geschmolzenem unterschwefligsauren Natron läßt sich immer wieder zu demselben Versuche anwenden.

Rudberg hat interessante Beobachtungen über das Festwerden geschmolzener Legirungen von Blei und Zinn, Zinn und Wismuth, Zinn und Zink, Zink und Wismuth gemacht. Werden z. B. Zinn und Blei in irgend einem Verhältniß zusammengeschmolzen, ein Thermometer hineingesenkt und die Erkaltungszeit mit dem Sinken des Thermometers verglichen, so findet man, daß das Thermometer auf einem gewissen Punkte stationär bleibt, ohne daß noch das Metall sichtbar zu erstarren anfängt, daß es darauf weiter sinkt und zum zweiten Male stationär bleibt, wenn die ganze Masse erstarrt. Rudberg fand, daß dieser letztere Punkt auf denselben Thermometergrad fällt, in welchem

Verhältniß die Metalle auch gemischt sind, daß aber der andere variirt und bei dem Zusatze des schon vorherrschenden Metalls höher wird, und umgekehrt. Daher nennt er den ersteren Punkt den **beständigen**, den letzteren den **veränderlichen**.

Den Erstarrungspunkt des Zinns fand **Rudberg** bei 228°, den des Bleies bei 325°. Der beständige Punkt, wobei eine Legirung beider erstarrt, ist 187°; allein für eine Legirung von 3 Aeq. Blei und 1 Aeq. Zinn ist der erste am Thermometer stationäre, also der veränderliche Punkt 280°. Je mehr Zinn man nun der Legirung zusetzt, desto tiefer sinkt der veränderliche Punkt, er ist 200° für eine Mischung von 1 Aeq. Blei und 2 Aeq. Zinn. Bei einer Legirung von 1 Aeq. Blei und 3 Aeq. Zinn fehlt der veränderliche Punkt ganz, und es findet sich nur der feste Erstarrungspunkt von 187°. Wenn man nun noch mehr Zinn zusetzt, so steigt der veränderliche Punkt wieder.

Aehnliche Erscheinungen beobachtete **Rudberg** bei den übrigen der erwähnten Legirungen.

Dampfbildung. Wenn eine Flüssigkeit mit der Luft in Berührung ist, 162 so nimmt ihre Menge mehr und mehr ab, und nach kürzerer oder längerer Zeit verschwindet sie vollständig. Das Wasser, welches nach einem Regen den Boden bedeckt, widersteht nicht dem Wehen eines trockenen Windes und der Einwirkung des Sonnenscheins; es verschwindet, nicht allein, indem es in den Boden einsickert, sondern auch, indem es in der Luft verdunstet.

Das Phänomen der Verdunstung geht rascher vor sich, wenn man eine Schale mit Wasser über Feuer zum Kochen bringt; in kurzer Zeit ist alles Wasser verschwunden, und doch ist es nicht vom Gefäße verschluckt worden. Es geht daraus hervor, daß die Flüssigkeiten ihren Aggregatzustand ändern, daß sie unsichtbar und expansibel werden, wie die Gase. Mit dem Namen **Dampf** bezeichnet man eine in gasförmigen Zustand übergegangene Flüssigkeit.

Man war lange Zeit der irrigen Meinung, daß die Dämpfe für sich selbst nicht bestehen könnten; man glaubte, sie seyen ganz in derselben Weise in der Luft aufgelöst wie die Salze im Wasser; um eine Flüssigkeit gasförmig zu machen, bedürfe es ebenso eines Auflösungsmittels, der Luft, wie ein Lösungsmittel, etwa Wasser, nöthig sey, um die festen Salze flüssig zu machen. Um die Unrichtigkeit dieser Meinung darzuthun und zugleich die wahren Gesetze der Dampfbildung zu studiren, muß man machen, daß die Dampfbildung im luftleeren Raume vor sich geht. Dazu eignet sich nun die **Toricelli**'sche Leere ganz vorzüglich, nicht allein weil man es mit einem vollkommen luftleeren Raume zu thun hat, sondern auch weil die Depression der beweglichen Quecksilbersäule ein Mittel bietet, die Expansivkraft der Dämpfe zu messen.

Nehmen wir an, man habe in einem weiteren, mit Quecksilber gefüllten Gefäße vv' (Fig. 459 s. f. S.) drei **Toricelli**'sche Röhren neben einander gestellt, so wird in allen das Quecksilber gleich hoch stehen; wenn man aber mit Hülfe einer gekrümmten Pipette etwas Wasser in die eine Röhre b' bringt, so steigt es alsbald bis zur **Toricelli**'schen Leere in die Höhe, und augenblicklich

sinkt auch der Gipfel der Quecksilbersäule um einige Millimeter. Dem Gewicht der kleinen Wasserschicht, welche jetzt auf dem Quecksilber schwimmt, kann man diese Depression nicht zuschreiben; hat man, wie es nöthig ist, wenn der Versuch entscheidend seyn soll, Wasser genommen, welches durch Kochen vollständig von Luft befreit worden ist, so kann man jene Depression auch nicht der aus dem Wasser sich entbindenden Luft zuschreiben. Aus dem Wasser müssen sich also Dämpfe entwickelt haben, welche, wie die Gase, eine Spannung haben; denn diese Wasserdämpfe wirken gerade so, als ob man eine kleine Portion Luft in die leere Kammer hätte aufsteigen lassen.

Fig. 450.



Die Größe der Depression giebt zugleich ein Maaß für die Spannkraft der Wasserdämpfe. Nehmen wir an, die durch die Wasserdämpfe deprimirte Quecksilberkuppe t stehe um 15^{mm} tiefer als die Kuppe c des anderen Barometers, über welcher sich noch ein vollkommenes Vacuum befindet, so ist klar, daß die Wasserdämpfe auf der Kuppe t gerade so stark drücken, als eine Quecksilbersäule von 15^{mm} Höhe. Die Depression von 15^{mm} ist also wirklich das Maaß für die Spannkraft des Wasserdampfes.

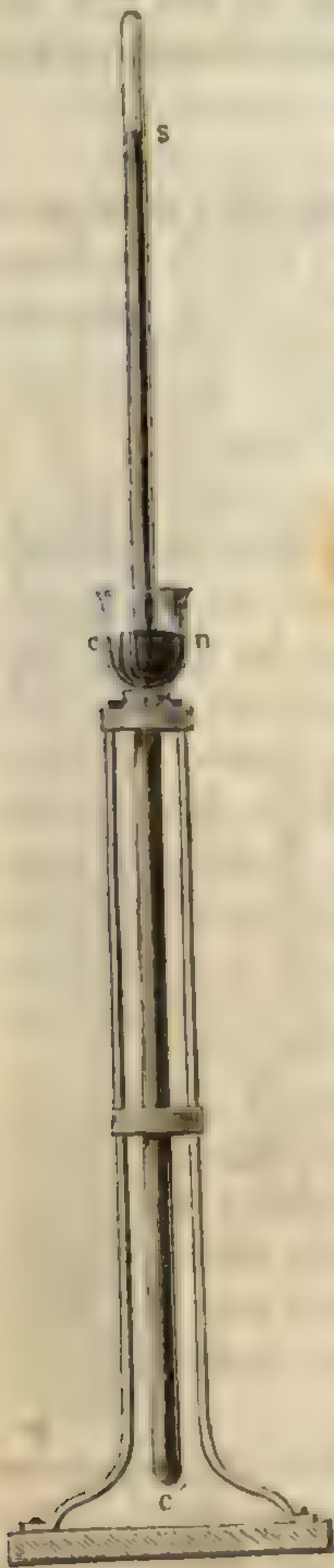
Hätte man in das dritte Barometerrohr b'' anstatt Wasser eine andere Flüssigkeit, etwa Schwefeläther, gebracht, so würde man eine weit bedeutendere Depression bemerkt haben als beim Wasser, denn bei einer mittleren Temperatur beträgt die Depression fast die Hälfte der Höhe des Barometers b; es folgt daraus, daß unter diesen Umständen der Aetherdampf eine Spannkraft hat, welche fast dem Drucke einer halben Atmosphäre gleich ist.

163 **Maximum der Spannkraft der Dämpfe.** Das Bestreben der Dämpfe sich auszudehnen, geht, wie bei den Gasen, bis in's Unendliche, d. h. die kleinste Menge Dampf breitet sich in einem leeren Raume, so groß er auch seyn mag, nach allen Seiten aus, und übt auf die Wände immer noch einen mehr oder minder großen Druck aus. Die kleinste Menge Wasser ist also fähig, in Dampfgestalt einen Raum von mehreren tausend Kubikmetern in derselben Weise auszufüllen wie die Luft. Obgleich aber die Dämpfe eine bis in's Unendliche gehende Expansionskraft haben, so kann man doch ihre Spannkraft nicht durch vermehrten Druck beliebig vergrößern, wie dies bei Gasen der Fall ist. Man mag eine gegebene Luftmenge noch so stark comprimiren, immer wird nach dem Mariotte'schen Gesetze ihre Elasticität in demselben Verhältnisse zunehmen, in welchem ihr Volumen verkleinert wird. Wenn man versucht, Dämpfe zu comprimiren, um dadurch ihre Elasticität zu vergrößern, so gelangt man bald zu einem Punkte, wo sich der Dampf verdichtet und in den flüssigen Zustand zurückkehrt. Diese Gränze des Widerstandes, bei welcher jede fernere Compression keine Vermehrung der Elasticität des Dampfes

hervorbringt, sondern ihn flüssig macht, nennt man das **Maximum der Tension des Dampfes**.

Um diesen charakteristischen Unterschied zwischen Gasen und Dämpfen durch den Versuch nachzuweisen, bedient man sich am zweckmäßigsten des schon im ersten Bande beschriebenen Apparates, Fig. 460; nur bringt man nicht Luft in die Barometerröhre, sondern etwas Aether. Man füllt zu diesem Zwecke die Toricelli'sche Röhre sehr sorgfältig mit Quecksilber, so daß alle Luft möglichst entfernt ist, was man am vollständigsten durch Auskochen erreicht. Ist die Röhre so bis auf 1 — 2^{cm} mit Quecksilber gefüllt, so gießt man diesen Raum noch voll Aether, kehrt die Röhre um und taucht sie in das Gefäß cn. Der Aether steigt alsbald in die Höhe, ein Theil bleibt flüssig, ein anderer verdampft im leeren Raume und bewirkt eine bedeutende Depression der Quecksilbersäule. Die Säule ns habe z. B. nur noch eine Höhe von 400^{mm}, während sie 760^{mm} hoch seyn würde, wenn oben ein Vacuum wäre, so ist die Spannkraft des Aetherdampfes gleich 360^{mm}. Wenn man nun die Toricellische Röhre tiefer in die mit Quecksilber gefüllte Röhre cc' hinabdrückt, um dadurch den mit Aetherdampf gefüllten Raum zu verkleinern, so beobachtet man, daß die Höhe der Quecksilbersäule ns ganz unverändert bleibt. Befindet sich statt des Aetherdampfes Luft im oberen Theile der Röhre, so wissen wir, daß, wenn beim Niederdrücken das Volumen der abgesperrten Luft verkleinert wird, auch ihre Elasticität zunimmt, so daß die Höhe der Quecksilbersäule im Barometerrohr abnimmt. Hier beim Dampf ist die Sache ganz anders; das Volumen des Aetherdampfes wird vermindert, ohne daß seine Elasticität zunimmt, denn die Höhe der Säule ns bleibt ja dieselbe. Je mehr man aber niederdrückt, desto mehr nimmt die Menge des flüssigen Aethers zu, die Verkleinerung des mit Aetherdämpfen erfüllten Raumes bewirkt also, daß sich ein Theil der Dämpfe wieder zu flüssigem Aether condensirt, während die übrigen Dämpfe ihre Spannkraft nicht ändern. Wenn man also den mit Aetherdampf gefüllten Raum auf $^1/_2$, $^1/_3$, $^1/_4$ u. s. w. comprimirt, so wird auch $^1/_2$, $^1/_3$, $^1/_4$ u. s. w. des Dampfes condensirt. Fährt man fort, das Rohr niederzudrücken, so gelangt man bald zu einem Punkte, wo aller Dampf verdichtet ist, so daß sich nur noch flüssiger Aether über der Quecksilbersäule befindet; dieses völlige Verschwinden der Dampfblase ist jedoch schwer zu erreichen, weil der Aether immer etwas absorbirte Luft enthält.

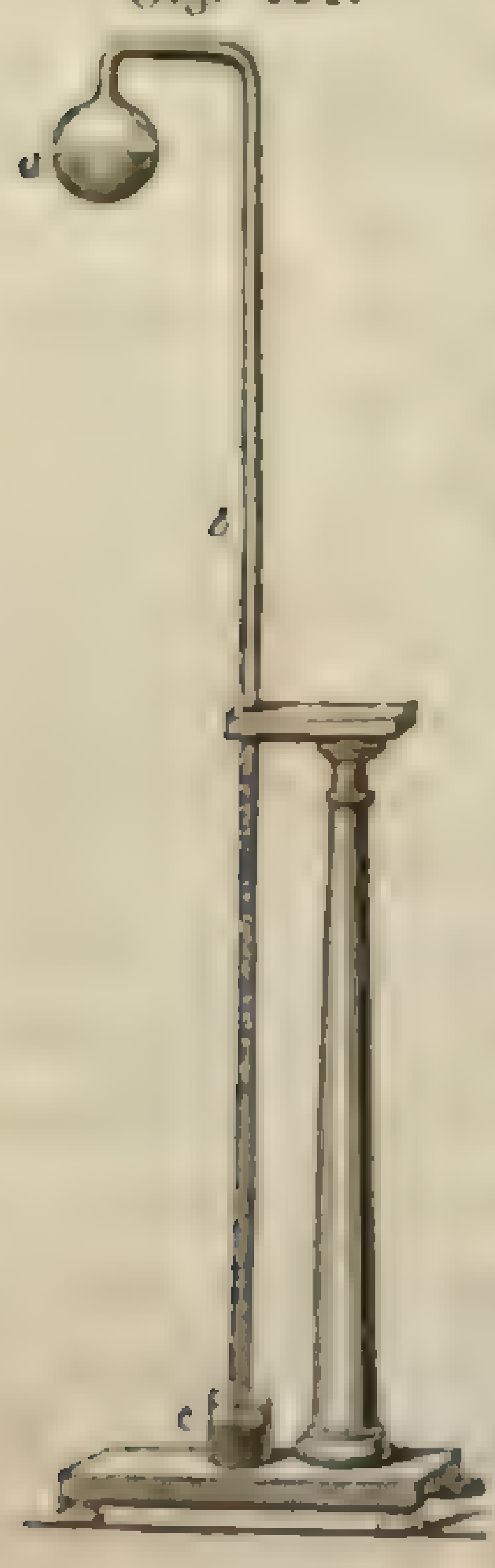
Fig. 460



Hebt man die Röhre wieder, so behält die Quecksilbersäule immer noch dieselbe Höhe ns, während die flüssige Aetherschicht fortwährend abnimmt, was beweist, daß sich sogleich wieder Dampf bildet, um den vergrößerten Raum auszufüllen und in demselben das Maximum der Spannkraft zu erreichen. Wenn man aber nur wenig Aether in die Röhre bringt und sie hinlänglich hebt, daß alle Flüssigkeit vollständig verschwindet, so wird nun bei fernerem Heben auch die Quecksilbersäule steigen; der Aetherdampf ist also nicht mehr im Maximum der Spannkraft, er verhält sich bei fernerer Vergrößerung seines Volumens gerade so, wie Gas.

164 **Gleichgewicht der Spannkraft in einem ungleich erwärmten Raume.** Man überzeugt sich leicht, welch' bedeutenden Einfluß die Temperatur auf das Maximum der Tension der Dämpfe ausübt; denn wenn man die oben erwähnten Versuche bei verschiedenen Temperaturen anstellt, so wird die Depression der Barometersäule sehr ungleich ausfallen. Bei 0° erhält man z. B. mit Aether nur eine Depression von 180^{mm}, während sie bei 30 Grad 630^{mm} beträgt. Phänomene, welche wir immer vor Augen haben, geben uns auch hinlängliche Beweise von dieser Wahrheit. Der Wasserdampf, wie er sich an der Oberfläche der Flüsse und Seen bildet, hat nur eine geringe Spannkraft; wenn das Wasser kocht, ist die Spannkraft der Dämpfe schon so groß, daß sie dem Druck der Atmosphäre das Gleichgewicht halten kann, und bei noch höheren Temperaturen wächst die Tension dermaßen, daß sie die furchtbarsten Explosionen von Dampfkesseln bewirkt. Man kann demnach fragen, welches wohl das Maximum der Tension des Dampfes in einem Raume seyn wird, welcher an verschiedenen Stellen ungleich erwärmt ist. Nach den Bedingungen des Gleichgewichts gasförmiger Körper muß an allen Stellen dieses Raumes der Dampf gleiche Tension haben, und da an den kälteren Stellen die Spannkraft des Dampfes nicht so groß seyn kann als an den wärmeren, so ist klar, daß im ganzen Raume die Tension der Dämpfe dieselbe seyn muß wie an der kältesten Stelle, daß also an den wärmeren Stellen der Dampf nicht das Maximum der Spannkraft erreichen kann, welches dieser höheren Temperatur zukommt.

Fig. 461.



Dies Princip läßt sich mit Hülfe des Apparates Fig. 461 anschaulich machen. Wenn die Kugel a halb voll Aether gefüllt ist, bringe man diese Flüssigkeit in's Kochen; hat das Kochen einige Zeit lang fortgedauert, so daß man überzeugt seyn kann, alle Luft ausgetrieben zu haben, so tauche man das unten offene Ende der Röhre b, aus welchem der Dampfstrom entwich, rasch in ein Gefäß mit Quecksilber c. Beim Erkalten der Kugel condensirt sich ein Theil der Dämpfe, das Queck-

silber steigt in der Röhre, bis die ganze Kugel zu der Temperatur der umgebenden Luft erkaltet ist. Von diesem Moment an steigt das Quecksilber nicht mehr; wenn man aber die Kugel noch unter die Temperatur der umgebenden Luft erkaltet, so steigt das Quecksilber von Neuem, und zwar bis zu derselben Höhe, als wenn nicht nur die Kugel, sondern auch die ganze Röhre bis zum Quecksilber ebenso stark erkaltet worden wäre.

Messung der Spannkraft der Wasserdämpfe. Um die Spannkraft 165
des Wasserdampfs zu bestimmen, hat man verschiedenartige Apparate anzuwenden, je nachdem man sie für eine Temperatur zwischen 0° und 100°, unter 0° oder über 100° ermitteln will.

Zwischen 0° und 100° wendet man den Fig. 462 abgebildeten Apparat an.

Fig. 462.

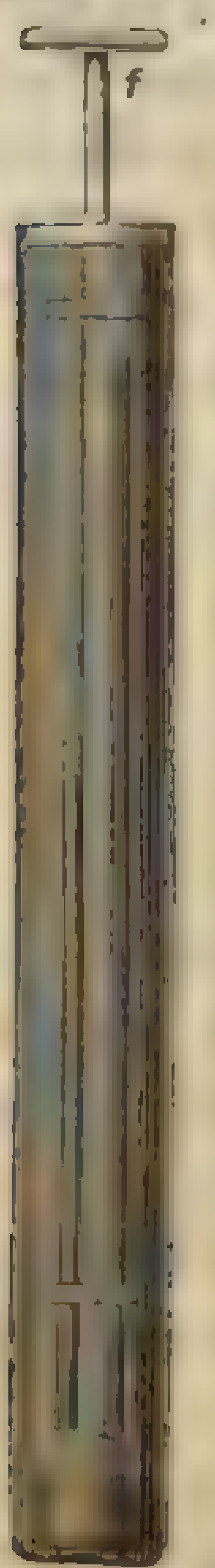


Fig. 463.



Er besteht aus zwei Barometerröhren, welche neben einander in dasselbe Gefäß eingetaucht sind; die erste dieser Röhren bildet ein vollständiges Barometer, in der zweiten befindet sich über dem Quecksilber etwas Wasser, welches zum Theil im leeren Raume verdampft. Diese beiden Röhren werden mittelst eines Eisenstabes in ein hinlänglich tiefes Glasgefäß eingesenkt. Dieses Gefäß ist ganz mit Wasser gefüllt, welches man bis zu jeder beliebigen Temperatur zwischen 0° und 100° erwärmen kann. Die Temperatur dieses Wassers, welche durch zweckmäßig angebrachte Thermometer bestimmt wird, ist zugleich die der beiden Barometer und des Wasserdampfs in dem einen. Um die Elasticität des Wasserdampfs zu erhalten, welche jedem Temperaturgrade entspricht, hat man nur zu bestimmen, in welchem Verhältniß die Depression des Dampfbarometers zur Höhe der Quecksilbersäule im vollständigen Barometer steht. Wenn diese Depression auf 0 reducirt wird, so hat man die wahre Spannkraft des Wasserdampfs. Dies ist das einfache Verfahren, welches Dalton in Manchester im Jahre 1805 anwandte, um die Gesetze der Dämpfe zu studiren, und welches ihm dazu diente, die wahre Theorie ihrer Bildung und ihrer Elasticität zu begründen.

Um die Spannkraft der Wasserdämpfe unter 100° zu bestimmen, wandte Schmidt einen anderen Apparat an. Auf das Quecksilber im Gefäß eines vollkommen fertigen Gefäßbarometers, Fig. 463, wurde Wasser gebracht. Das Gefäß war zuvor in eine feine Spitze ausgezogen worden, welche, nachdem das Wasser einige Zeit lang gekocht hatte, zugeschmolzen wurde, so daß man überzeugt seyn konnte, alle Luft ausgetrieben zu haben. Ueber dem Wasser im Gefäße befanden sich jetzt nur noch Wasserdämpfe, welche sich beim Erkalten mehr und mehr verdichteten. Je weiter nun diese Verdichtung

fortschritt, desto mehr nahm die Spannkraft der Dämpfe ab, desto mehr sank auch die Quecksilbersäule in der Röhre, deren Höhe ursprünglich dem Barometerstande gleich war. Die Differenz im Stande des Quecksilberspiegels in der Röhre und im Gefäß, welche man für eine bestimmte Temperatur des Gefäßes beobachtet, giebt unmittelbar die Spannkraft des Wasserdampfs für diese Temperatur. Taucht man z. B. das Gefäß in Wasser von 25°, so beobachtet man, daß in diesem Falle das Quecksilber in der Röhre 23mm über dem Quecksilberspiegel im Gefäß steht; die Wasserdämpfe, welche sich also bei 25° bilden, haben eine solche Spannkraft, daß sie eine 23mm hohe Quecksilbersäule tragen können.

Selbst unter 0° haben die Wasserdämpfe noch eine Spannkraft; das Eis verdampft, wie das Wasser. Um die Spannkraft der Dämpfe bei so niedrigen Temperaturen zu messen, kann man den schon erwähnten Apparat Fig. 461 anwenden; nur hat man in die Kugel Wasser zu bringen und alle Luft durch hinlänglich langes Kochen vollständig auszutreiben, bevor man das untere Ende der Röhre in das Quecksilbergefäß taucht. Um die Spannkraft des Wasserdampfs bei 0° zu erhalten, taucht man nur die Kugel in ein mit gestoßenem, schmelzendem Eis oder Schnee gefülltes Gefäß. Das Quecksilber in der Röhre steigt, jedoch erreicht die Säule nicht ganz die Höhe des gerade stattfindenden Barometerstandes, man beobachtet noch eine Depression von 5mm.

Um die Spannkraft der Dämpfe für Temperaturen unter 0° zu erhalten, wendet man statt des schmelzenden Eises Kältemischungen an, deren Temperatur immer mit Hülfe eines Thermometers genau bestimmt werden kann. Nach dem Princip, von welchem im vorigen Paragraph die Rede war, ist die Spannkraft der Dämpfe in dem ganzen durch die Quecksilbersäule abgesperrten Raume nicht größer, als sie am kältesten Theile, der Kugel seyn kann. Eine Folge davon ist auch, daß ein kleines Wassersäulchen, welches gewöhnlich auf der Quecksilbersäule schwimmt, kleiner und kleiner wird und endlich ganz verschwindet, weil die Wasserdämpfe, die sich hier bilden, rasch zur Kugel übergehen, wo sie sich zu Wasser verdichten.

Wenn es sich darum handelt, genaue Resultate zu erhalten, muß die Röhre genau vertical stehen und die Höhe der Quecksilbersäule mit großer Genauigkeit gemessen werden.

Mit diesem Apparat kann man überhaupt die Spannkraft der Dämpfe für alle Temperaturen bestimmen, welche niedriger sind als die der umgebenden Luft.

Um die Spannkraft der Wasserdämpfe für Temperaturen über 100° zu messen, kann man einen Apparat anwenden, welcher sich von dem Apparat Fig. 463 nur dadurch unterscheidet, daß die längere Röhre oben offen ist, daß also die Atmosphäre in der Röhre auf das Quecksilber wirken kann. Wenn vor dem Zuschmelzen des Gefäßes der längere Schenkel offen ist, so stellt sich das Quecksilber in beiden gleich hoch. Man hat nach dem Zuschmelzen der Spitze über dem Quecksilber im Gefäß nur Wasser, welches erst Dämpfe bilden kann bei Temperaturen, für welche ihre Spannkraft größer ist, als der

Druck einer Atmosphäre. Bringt man das Gefäß in Oel, dessen Temperatur mehr als 100° beträgt, so bilden sich Wasserdämpfe, welche auf das Quecksilber im Gefäß drücken und es im langen Rohre erheben. Die Differenz der Quecksilberspiegel im Gefäß und der Röhre giebt an, um wie viel die Spannkraft der Dämpfe größer ist als ein Atmosphärendruck.

Um die Röhre vor dem Zerbrechen zu schützen und um zugleich die Höhe der gehobenen Quecksilbersäule messen zu können, ist der Apparat auf einem getheilten Stabe befestigt. Wenn die Röhre lang genug ist, kann man mit dieser Vorrichtung die Tension der Wasserdämpfe bis zu 3 bis 4 Atmosphären messen.

Statt des langen Rohres kann man auch ein kürzeres anwenden, welches mit Luft gefüllt und oben verschlossen ist. Wenn die Wasserdämpfe im Gefäß das Quecksilber in die Röhre treiben, so wird die abgesperrte Luft comprimirt, und man kann leicht aus der Compression und der Höhendifferenz der beiden Quecksilberspiegel die Spannkraft des Wasserdampfes berechnen.

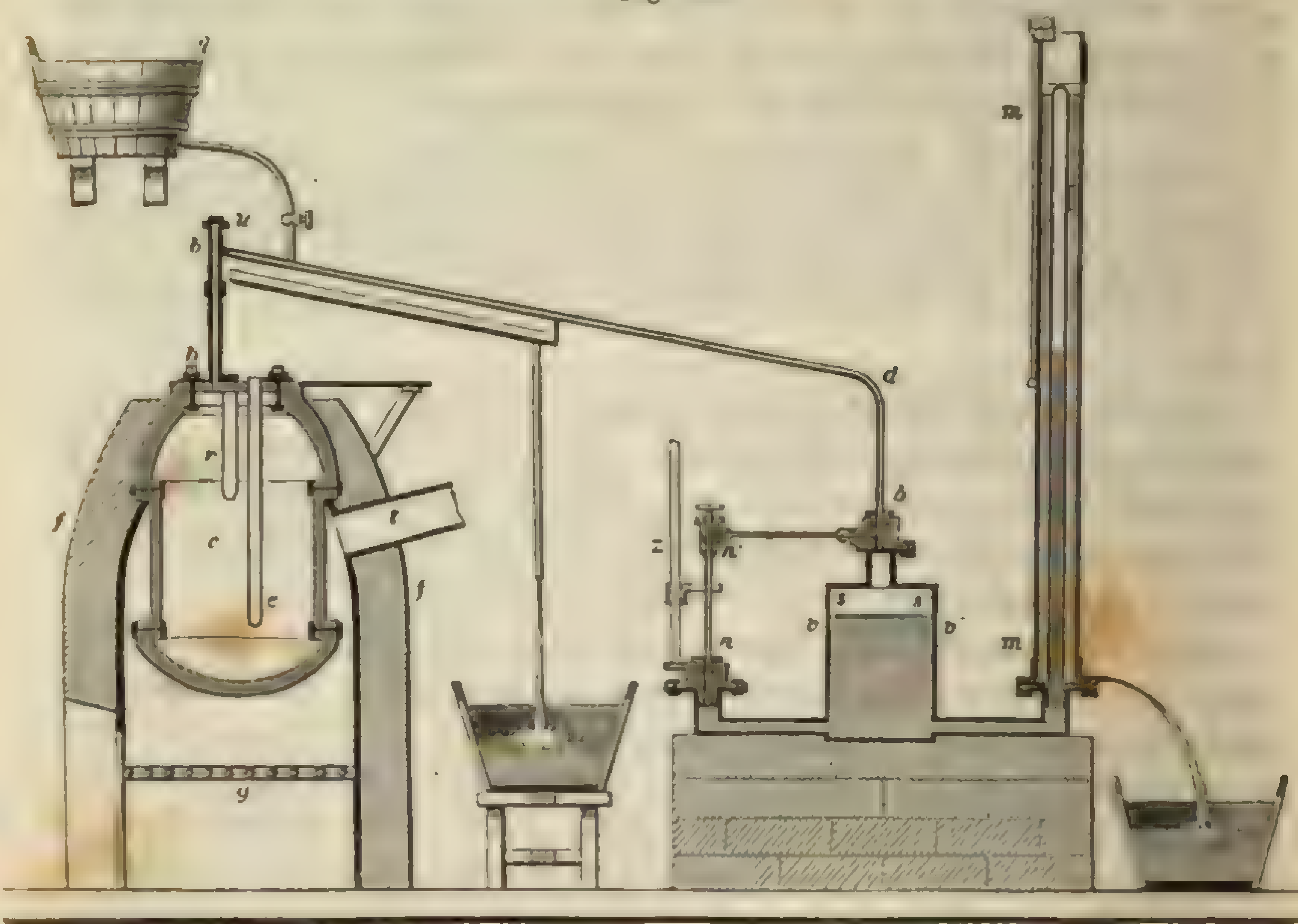
Wenn die Spannkraft der Dämpfe den Druck mehrerer Atmosphären übersteigt, hat man sehr große Schwierigkeiten zu überwinden. Die Wissenschaft besaß über diesen Punkt nur unzuverlässige Thatsachen, als Arago und Dulong von der französischen Akademie der Wissenschaften beauftragt wurden, die Elasticität der Wasserdämpfe bis zum höchsten Druck genau zu ermitteln, welcher noch bei industriellen Anwendungen vorkommen kann. Diese große Arbeit wurde im Jahre 1830 vollendet. Die Bestätigung des Mariotte'schen Gesetzes bis zu einem Druck von 27 Atmosphären war nur eine Vorarbeit zu dieser wichtigen Untersuchung.

Der Apparat, dessen sie sich bedienten, ist Fig. 464 (s. f. S.) abgebildet. Der Dampf wurde in einem starken Dampfkessel *c* von Eisenblech erzeugt, welcher ungefähr ein Volumen von 80 Litern hatte. Am cylindrischen Theile, welcher der schwächste war, hatte die Wand eine Dicke von 13mm. Die Figur zeigt noch den Ofen *f*, den Rost *g* und die Röhre *t*, durch welche der Rauch entweicht.

Hätte man die Thermometer, welche zur Messung der Temperaturen dienen sollten, unmittelbar in den Dampfkessel gebracht, so wäre zu befürchten gewesen, daß der Druck der Dämpfe das Gefäß der Thermometer comprimirt hätte, und daß in Folge dessen das Quecksilber in den Thermometerröhren höher gestiegen wäre, als es der Temperaturerhöhung entspricht. Um dies zu vermeiden, waren zwei Flintenläufe, *e* und *r*, in den Deckel eingelassen, welche oben offen und unten verschlossen mit Quecksilber gefüllt waren. Der eine dieser Läufe ragte bis in das Wasser des Kessels herab, der andere nicht ganz bis auf den Wasserspiegel, so daß das Quecksilber in einem Laufe die Temperatur des Wassers, im anderen die des Dampfes angab. In jeden Lauf war nun ein Thermometer eingesenkt, dessen Röhre oberhalb des Laufes horizontal umgebogen war. Weil das Quecksilber der Thermometerröhre da, wo sie sich außerhalb des Quecksilbers befindet, eine geringere Temperatur hat, so können Fehler entstehen, wenn man diese Temperaturdifferenz nicht in Rechnung bringt. Um

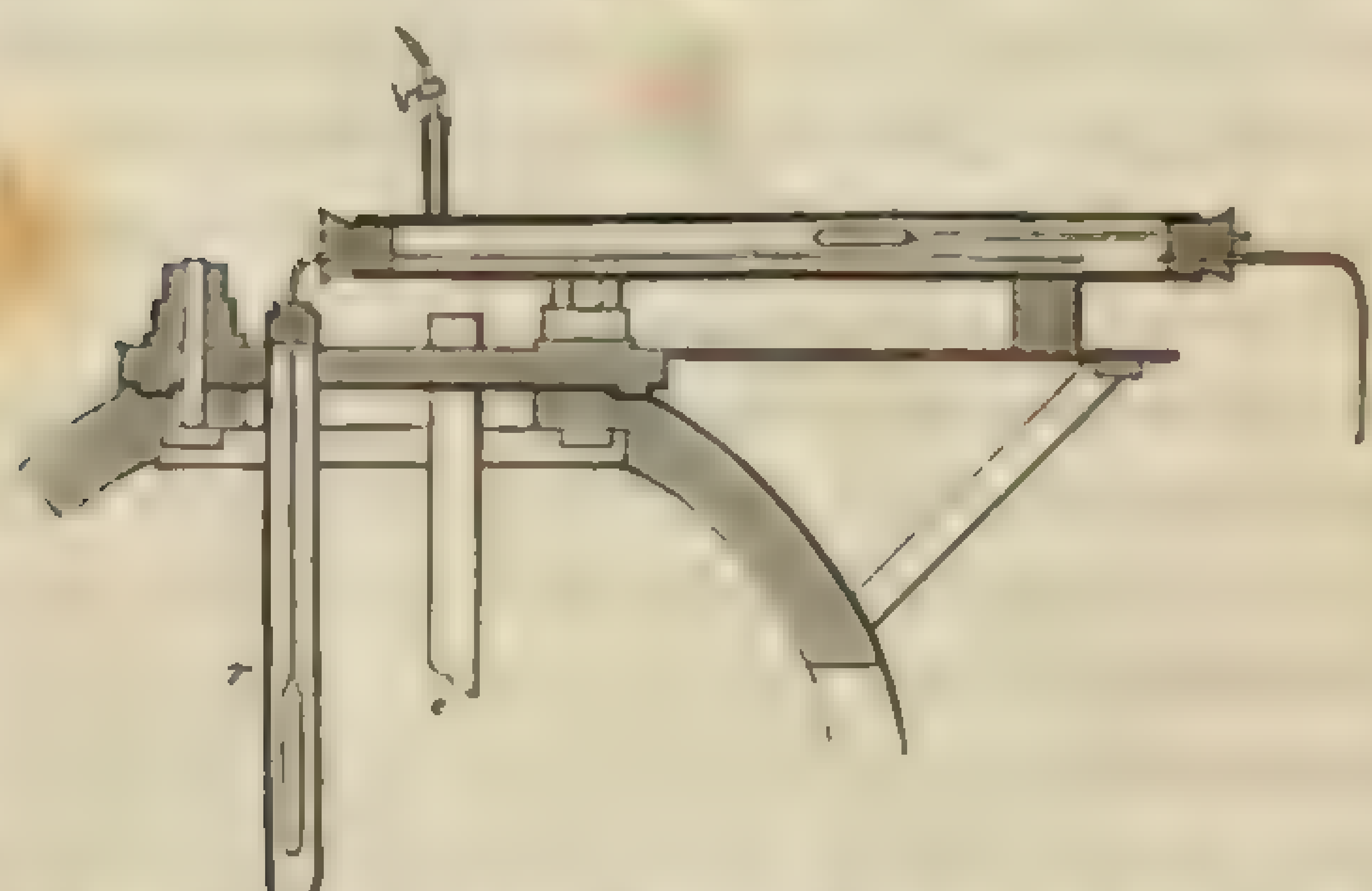
dies möglich zu machen, wird der horizontale Theil der Röhre durch einen

Fig. 464.



Wasserstrom auf constanter Temperatur erhalten. Diese Anordnung ist deutlicher aus Fig. 465 zu ersehen.

Fig. 465.



Um die Spannkraft der Dämpfe zu messen, wurde dieselbe Manometerröhre angewandt, welche zuvor gedient hatte, um das Mariotte'sche Gesetz bis auf 27 Atmosphären zu prüfen. Statt daß aber das Wasser durch eine Druckpumpe in das gußeiserne Gefäß $v v'$, Fig. 464, eingepreßt wurde, übt jetzt der Dampf diesen Druck aus. Aus dem Dampfkessel erhebt sich nämlich eine verticale Röhre $b b'$, in welcher der Dampf aufsteigt und bei u gegen den Gipfel einer Wassersäule drückt, welche die geneigte Röhre $u d b$ und den oberen Theil des Gefäßes $v v'$ füllt. Dieser Druck pflanzt sich auf die Oberfläche des Quecksilbers in $v v'$ fort und bewirkt eine Compression der Luft in der Manometerröhre $m m'$. Da man den Druck kennt, welcher jedem Stande des Quecksilbers in der Manometerröhre entspricht, so kann man daraus leicht die Spannkraft des Dampfes er-

mitteln. Nur sind noch zwei Correctionen nöthig, eine wegen der verticalen Höhe der Wassersäule von *u* bis zum Quecksilberspiegel in *v v'*, die andere wegen der veränderlichen Höhe des Quecksilbers in diesem Gefäße. Um diese Höhe genau ermitteln zu können, ist eine Glasröhre *n n'* mit dem oberen und unteren Theile des Gefäßes *v v'* in Verbindung gebracht, und man kann den Stand des Quecksilbers in dieser Röhre mit Hülfe eines auf dem getheilten Stabe *z* beweglichen Schiebers beobachten.

Damit das Wasser in dem oberen Theile der Röhre *u d* nicht erwärmt werden kann, wird sie durch einen beständig fließenden Wasserstrom auf constanter Temperatur erhalten.

Die Beobachtungen mit diesem Apparate wurden in folgender Weise angestellt. Nachdem in den Kessel eine solche Menge Wasser gegossen war, daß der Behälter des kleineren Thermometers sich eben über dem Wasserspiegel befand, wurde das Wasser 15 bis 20 Minuten lang im Kochen erhalten, während das Sicherheitsventil des Kessels und die verticale Röhre *b b'* offen blieben, um alle atmosphärische Luft auszutreiben. Auf den Rost des Ofens wurde dann eine größere oder kleinere Menge Brennmaterial aufgelegt, je nachdem man eine höhere oder weniger hohe Temperatur zu erhalten beabsichtigte, und nun alle Oeffnungen des Kessels geschlossen. Die beiden Thermometer und die Quecksilbersäule im Manometer begannen nun rasch zu steigen, bald aber wurde das Steigen langsamer und erreichte ein Maximum. In dem Moment dieses Maximums wurde der Stand der Thermometer von dem einen Beobachter, der Stand des Manometers aber von dem anderen notirt. Auf diese Weise wurden 30 Beobachtungen gemacht; die niedrigste Temperatur war 123,7° und die entsprechende beobachtete Spannkraft des Dampfes war 2,14 Atmosphären, die höchste Temperatur war 223,15° und die entsprechende Spannkraft 23,994 Atmosphären.

Zwischen dem großen und kleinen Thermometer fanden gewöhnlich kleine Differenzen Statt, jedoch betrug der größte Unterschied nur 0,7°; bei den meisten Beobachtungen war jedoch der Unterschied weit kleiner. Die Angaben des großen Thermometers wurden als die zuverlässigeren betrachtet, weil man wohl annehmen kann, daß der in das Wasser eingetauchte Behälter des großen Thermometers rascher die Temperatur der Umgebung annimmt, als der von dem weit weniger dichten Dampf umgebene.

Um nach den gemachten Beobachtungen die Spannkraft der Dämpfe für Temperaturen zu bestimmen, welche zwischen die beobachteten fallen, muß man eine empirische Formel zwischen der Spannkraft *e* und der entsprechenden Temperatur *t* suchen, welche sich den gemachten Beobachtungen möglichst gut anschließt. Nach solchen empirischen Formeln sind nun die folgenden Tabellen berechnet.

Erste Tabelle.

Spannkraft des Wasserdampfes von — 20° bis 100° C.

Grade.	Spannkraft des Dampfes in Millim.	Druck auf 1 Quad.-Cent. in Kilogr.	Grade.	Spannkraft des Dampfes in Millim.	Druck auf 1 Quad.-Cent. in Kilogr.
—20	1,333	0,0018	28	27,390	0,0374
—15	1,879	0,0026	29	29,045	0,0396
—10	2,631	0,0036	30	30,643	0,0418
— 5	3,660	0,0050	31	32,410	0,0440
0	5,059	0,0069	32	34,261	0,0465
1	5,393	0,0074	33	36,188	0,0492
2	5,748	0,0078	34	38,254	0,0520
3	6,123	0,0084	35	40,404	0,0549
4	6,523	0,0089	36	42,743	0,0581
5	6,947	0,0094	37	45,038	0,0612
6	7,396	0,0101	38	47,759	0,0646
7	7,871	0,0107	39	50,147	0,0681
8	8,375	0,0114	40	52,998	0,0720
9	8,909	0,0122	41	55,772	0,0758
10	9,475	0,0129	42	58,792	0,0799
11	10,074	0,0137	43	61,958	0,08418
12	10,707	0,0146	44	65,627	0,08916
13	11,378	0,0155	45	68,751	0,09340
14	12,087	0,0165	46	72,393	0,09835
15	12,837	0,0170	47	76,205	0,1035
16	13,630	0,0186	48	8C,195	0,10900
17	14,468	0,0197	49	84,370	0,11662
18	15,353	0,0209	50	88,743	0,12056
19	16,288	0,0222	51	93,301	0,12676
20	17,314	0,0235	52	98,075	0,13325
21	18,317	0,0250	53	103,060	0,13999
22	19,447	0,0265	54	108,070	0,14710
23	20,577	0,0281	55	113,710	0,15449
24	21,805	0,0297	56	119,390	0,16220
25	23,090	0,0314	57	125,310	0,17035
26	24,452	0,0334	58	131,500	0,17866
27	25,881	0,0353	59	137,940	0,18736

Fortsetzung der ersten Tabelle.

Grade.	Spannkraft des Dampfes in Millim.	Druck auf 1 Quad.-Cent. in Kilogr.	Grade.	Spannkraft des Dampfes in Millim.	Druck auf 1 Quad.-Cent. in Kilogr.
60	144,660	0,19653	81	367,000	0,49860
61	151,700	0,20610	82	382,380	0,51950
62	158,960	0,21586	83	398,280	0,54110
63	165,560	0,22639	84	414,730	0,56345
64	174,470	0,23758	85	431,710	0,58652
65	182,710	0,24823	86	449,260	0,61036
66	191,270	0,25986	87	467,380	0,63498
67	200,180	0,27196	88	486,090	0,66040
68	209,440	0,28454	89	505,380	0,68661
69	219,060	0,29761	90	525,28	0,71364
70	229,070	0,31121	91	547,80	0,74152
71	239,450	0,32532	92	566,95	0,77026
72	250,230	0,33996	93	588,74	0,79986
73	261,430	0,35518	94	611,18	0,83035
74	273,030	0.37094	95	634,27	0,86172
75	285,070	0,39632	96	658,05	0,89402
76	297,570	0,40428	97	682,59	0,92736
77	310,490	0,42184	98	707,63	0,96138
78	323,890	0,44004	99	733,46	0,99448
79	337,760	0,45888	100	760,00	1,03253
80	352,080	0,47834			

Zweite Tabelle.

Spannkraft in Atmosph., die Atmosph. gleich 76 Centimeter Quecksilber.	Entsprechende Temperaturen nach dem 100theil. Quecksilber-Thermometer.	Druck auf 1 Quadr.-Centimeter in Kilogr.	Spannkraft in Atmosph., die Atmosph. gleich 76 Centimeter Quecksilber	Entsprechende Temperaturen nach dem 100theil. Quecksilber-Thermometer.	Druck auf 1 Quadr.-Centimeter in Kilogr.
1	100	1,033	13	193,7	13,429
1½	112,2	1,549	14	197,19	14,462
2	121,4	2,066	15	200,48	15,495
2½	128,8	2,582	16	203,60	16,528
3	135,1	3,099	17	206,57	17,561
3½	140,6	3,615	18	209,4	18,594
4	145,4	4,106	19	212,1	19,627
4½	149,06	4,648	20	214,7	20,660
5	153,08	5,165	21	217,2	21,693
5½	156,8	5,681	22	219,6	22,726
6	160,2	6,198	23	221,9	23,759
6½	163,48	6,714	24	224,2	24,792
7	166,5	7,231	25	226,3	25,825
7½	169,37	7,747	30	236,2	30,990
8	172,1	8,264	35	244,85	36,155
9	177,1	9,297	40	252,55	41,320
10	181,6	10,33	45	259,52	46,485
11	186,03	11,363	50	265,89	51,650
12	190,0	12,396			

Dritte Tabelle.

Spannkraft in Atmosphären ausgedrückt.	Entsprechende Temperaturen.	Druck auf 1 Quad.-Cent. in Kilogr.	Spannkraft in Atmosphären ausgedrückt.	Entsprechende Temperaturen.	Druck auf 1 Quad.-Cent. in Kilogr.
100	311,36	103,3	600	462,71	619,8
200	363,58	206,6	700	478,55	723,1
300	397,65	309,9	800	492,47	826,4
400	423,57	413,2	900	505,16	829,7
500	444,70	516,5	1000	516,76	1033,0

Die erste dieser Tabellen ist nach einer etwas complicirten Formel berechnet, welche nach den von Dalton zwischen 0° und 100° gemachten Beobachtungen construirt wurde.

Den Beobachtungen von Arago und Dulong entspricht bis zu 4 Atmosphären am besten eine von Tredgold aufgestellte empirische Formel:

$$log.\ e = \frac{23,94571\ t}{800 + 3t} 2,2960383,$$

wo e die Spannkraft und t die Temperatur bezeichnet; nach dieser Formel ist die zweite Tabelle bis zu 4 Atmosphären berechnet. Ueber 4 Atmosphären stimmt die Formel

$$e = (1 + 0,7153\ t)^5$$

besser mit den Versuchen überein, in welchen t die Temperaturen über 100° bezeichnet, wenn man 100° zur Einheit nimmt; für 136° z. B. hat man zu setzen $t = 0,36$. Nach dieser ist die zweite Tabelle von 4 Atmosphären an berechnet, sie geht noch über die Gränzen der Beobachtung, d. h. noch über 24 Atmosphären hinaus bis zu 50 Atmosphären. Auch die dritte Tabelle ist nach dieser Formel berechnet.

Um die Relation zwischen der Temperatur und der Spannkraft des Wasserdampfes darzustellen, sind schon über 30 empirische Formeln aufgestellt worden, welche sich bald mehr, bald weniger der Erfahrung anschließen. Eine ziemlich einfache Beziehung ergiebt sich aus folgender Betrachtung.

Die folgende kleine Tabelle enthält aus den Versuchen von Dulong und Arago abgeleitete, nach einer geometrischen Reihe fortschreitende Spannkräfte des Wasserdampfes nebst den zugehörigen Temperaturen.

Atmosphären.	Temperatur in Graden.	Differenz in Graden.
1	100	
2	121,4	21,4
4	145,4	24
8	172,1	26,7
16	203,6	31,5

Die dritte Columne dieser Tafel enthält die Temperaturdifferenzen, um welche jedes Mal die Temperatur steigen muß, damit die zugehörige Tension der Wasserdämpfe verdoppelt wird. Die Zahlen dieser Columne sind nun sehr nahe Glieder einer geometrischen Reihe, denn die Quotienten je zweier auf einander folgender sind fast gleich; durch sehr unbedeutende Correctionen läßt sich wirklich eine geometrische Reihe aus ihnen bilden. Nehmen wir die Tem-

peraturen 100°, 145,4°, 203,6°, zu welchen die Spannkräfte 1, 4 und 16 Atmosphären gehören, als absolut genau an, so ist es leicht, die Temperaturen, welche den Spannkräften 2 und 8 Atmosphären entsprechen, so zu berechnen, daß die jedesmaligen Temperaturdifferenzen eine geometrische Reihe bilden. Dieser Bedingung leisten die in der zweiten Columne der folgenden Tafel enthaltenen berechneten Temperaturen Genüge.

Atmosphären.	Berechnete Temperatur in Graden.	Beobachtete Temperatur in Graden.	Differenz.
1	100	100	0
2	121,292	121,4	— 0,108
4	145,4	245,4	0
8	172,695	172,1	+ 0,595
16	203,6	203,6	0

Wir nehmen also an, daß von 100° ausgehend die Temperatur um 21,292° wachsen müsse, um die Spannkraft zu verdoppeln; sie abermals zu verdoppeln, muß die Temperatur um 21,292 $\times$ 1,13224 wachsen. Um die Spannkraft von 4 bis zu 8 Atmosphären zu steigern, muß die Temperatur wieder um 21,292 $\times$ 1,13224² wachsen u. s. w.

Die Differenzen in der letzten Columne liegen ganz innerhalb der Gränzen der Beobachtungsfehler.

Das eben betrachtete Gesetz ist aus Beobachtungen zwischen 100° und 203,6° abgeleitet worden, und es ließ sich deshalb auch erwarten, daß es innerhalb dieser Gränzen sich den Beobachtungen gut anschließe. Es fragt sich nun aber, wie die nach diesem Gesetze berechneten Werthe unter 100° mit der Beobachtung übereinstimmen. Unserer Hypothese zufolge muß die Spannkraft gleich einer halben Atmosphäre werden, wenn die Temperatur von 100° um $\frac{21,292}{1,13224}$ Grade sinkt. Eine abermalige Temperaturerniedrigung um $\frac{21,292}{1,13224^2}$ Grad muß die Spannkraft auf $^1/_4$ Atmosphäre reduciren u. s. w. Auf diese Weise sind die Temperaturen der folgenden Tabelle berechnet, welche der Spannkraft $^1/_2$, $^1/_4$, $^1/_8$ u. s. w. Atmosphäre entsprechen.

Temperatur.	Spannkraft		Spannkraft nach Regnault.	Differenz.
	in Atmosph.	in Millim.		
81,19	1/2	380	379	+ 1
64,58	1/4	190	195	— 5
49,91	1/8	95	102	— 7
36,96	1/16	47,5	49,6	— 2,1
25,54	1/32	23,75	27,3	— 3,5

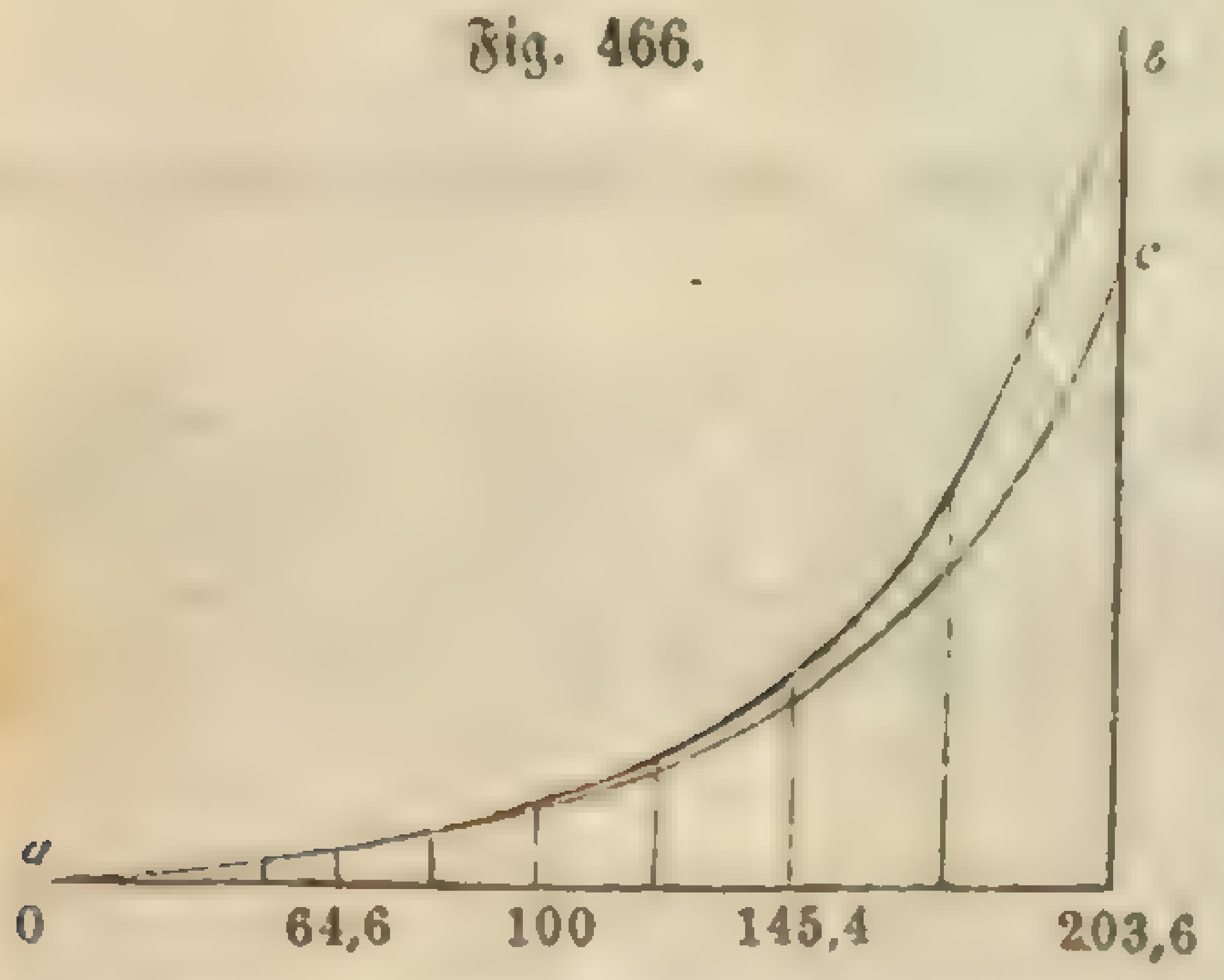
Man sieht aus dieser Tabelle, daß unsere Hypothese ziemlich gut mit den Werthen übereinstimmt, welche Regnault für die entsprechenden Temperaturen gefunden hat, und welche wir auf der nächsten Seite näher werden kennen lernen.

Aus unserer Hypothese ergiebt sich folgende Formel:

$$log.\ e = 5{,}58188.\ \ log.\ (1 + 0{,}0062108\ t),$$

wo e die Spannkraft, t die Anzahl Grade bezeichnet, um welche die gerade betrachtete Temperatur von 100° abweicht. Für Temperaturen über 100° ist t positiv, unter 100° negativ zu setzen.

Fig. 466.



Die Curve ab, Fig. 466, stellt das Gesetz der Spannkraft der Wasserdämpfe dar. Die Temperaturen sind als Abscissen, die Spannkräfte als Ordinaten aufgetragen.

In neuester Zeit haben Magnus und Regnault sehr genaue Versuche über die Spannkraft der Wasserdämpfe gemacht. Die folgende Tabelle giebt einen Auszug ihrer Resultate:

Temperatur t	Spannkraft des Wasserdampfes nach Regnault.	Magnus.
— 30° C.	0,365mm	—
— 20	0,841	0,916
0	4,600	4,525
+ 20	17,391	17,391
40	54,906	54,969
60	148,791	148,579
80	354,643	353,926
100	760,000	760,000
110	1068,18	1077,262
120	1475,90	—
130	2006,44	—
140	2685,96	—
150	3543,37	—

Die Resultate beider Gelehrten stimmen, wie man sieht, sehr gut mit einander.

Die folgenden Tabellen geben die Resultate der auf Seite 490 mitgetheilten Tabellen auf anderes Maaß reducirt, weil so reducirte Tabellen häufig gewünscht worden sind. Die Spannkraft ist gemessen in Pariser Linien, und dabei angegeben, wie viel Pfund preuß. der Druck des Dampfes auf einen rheinl. Quadratzoll beträgt.

Erste Tabelle.

Spannkraft des Dampfes von — 20 bis 100° C.

Grade.	Spannkraft des Dampfes in par. Linien.	Druck auf 1 Quadr.-Zoll preußisch in pr. Pfunden.	Grade.	Spannkraft des Dampfes in par. Linien.	Druck auf 1 Quadr.-Zoll preußisch in pr. Pfunden.
—20	0,590	0,0263	26	10,840	0,4884
—15	0,832	0,038	27	11,472	0,5162
—10	1,166	0,0526	28	12,153	0,5469
— 5	1,622	0,0731	29	12,875	0,5791
0	2,242	0,1009	30	13,583	0,6113
1	2,390	0,1082	31	14,367	0,6435
2	2,548	0,1140	32	15,187	0,6801
3	2,714	0,1228	33	16,041	0,7195
4	2,891	0,1301	34	16,957	0,7605
5	3,079	0,1374	35	17,909	0,8029
6	3,278	0,1477	36	18,947	0,8497
7	3,489	0,1564	37	19,964	0,8950
8	3,712	0,1667	38	21,171	0,9064
9	3,949	0,1784	39	22,229	0,9959
10	4,200	0,1886	40	23,477	1,0530
11	4,465	0,2003	41	24,714	1,1086
12	4,746	0,2135	42	26,098	1,1685
13	4,929	0,2266	43	27,465	1,2311
14	5,345	0,2443	44	29,092	1,3040
15	5,690	0,2486	45	30,476	1,3660
16	6,042	0,2720	46	32,091	1,4384
17	6,413	0,2881	47	33,781	1,5137
18	6,805	0,3056	48	35,550	1,5941
19	7,220	0,3246	49	37,400	1,7056
20	7,675	0,3437	50	39,339	1,7632
21	8,119	0,3656	51	41,321	1,8539
22	8,620	0,3875	52	43,475	1,9488
23	9,121	0,4109	53	45,686	2,0474
24	9,666	0,4343	54	47,908	2,1514
25	10,235	0,4581	55	50,407	2,2595

Fortsetzung der ersten Tabelle.

Grade.	Spannkraft des Dampfes in par. Linien.	Druck auf 1 Quadr.-Zoll preußisch in pr. Pfunden.	Grade.	Spannkraft des Dampfes in par. Linien.	Druck auf 1 Quadr.-Zoll preußisch in pr. Pfunden.
56	52,925	2,3723	79	149,727	6,7113
57	55,549	2,4914	80	156,075	6,9959
58	58,293	2,6130	81	162,689	7,2923
59	61,148	2,7402	82	169,663	7,5979
60	64,082	2,8743	83	176,556	7,9138
61	67,232	3,0143	84	183,848	8,2407
62	70,466	3,1570	85	191,375	8,5781
63	73,392	3,3110	86	199,155	8,9268
64	77,341	3,4747	87	207,187	9,2869
65	80,99	3,6305	88	215,581	9,6587
66	84,789	3,8005	89	224,032	10,0420
67	88,739	3,9775	90	232,854	10,4373
68	92,843	4,1615	91	242,837	10,8451
69	97,108	4,3527	92	251,326	11,2654
70	101,545	4,5516	93	260,986	11,6984
71	106,147	4,7579	94	270,889	12,1443
72	110,925	4,9721	95	281,169	12,6031
73	115,890	5,1947	96	291,710	13,0755
74	121,023	5,4252	97	302,589	13,5631
75	126,370	5,7964	98	313,689	14,0607
76	131,911	5,9128	99	325,139	14,5448
77	137,956	6,1696	100	336,905	15,1013
78	143,579	6,4358			

Zweite Tabelle.

Spannkraft in Atmosph., die Atmos. = 28 Zoll Quecksilb.	Entsprechende Temperaturen nach dem 100theiligen Quecksilber-Thermometer.	Druck auf 1 Quadr.-Zoll preußisch in pr. Pfunden.	Spannkraft in Atmosph., die Atmos. = 28 Zoll Quecksilb.	Entsprechende Temperaturen nach dem 100theiligen Quecksilber-Thermometer.	Druck auf 1 Quadr.-Zoll preußisch in pr. Pfunden.
1	100	15,108	18	209,4	271,94
1½	112,2	22,654	19	212,1	287,05
2	121,4	30,216	20	214,7	302,16
2½	128,8	37,763	21	217,2	317,27
3	135,1	45,324	22	219,6	332,38
3½	140,6	52,871	23	221,9	347,48
4	145,4	60,432	24	224,2	362,59
4½	149,06	67,979	25	226,3	377,70
5	153,08	75,541	30	236,2	453,24
5½	156,8	83,087	35	244,85	528,78
6	160,2	90,649	40	252,55	604,32
6½	163,48	98,196	45	259,52	679,89
7	166,5	105,75	50	265,89	755,41
7½	169,37	113,30	100	311,36	1510,8
8	172,1	120,86	200	363,58	3014,6
9	177,1	135,97	300	397,65	4532,4
10	181,6	151,08	400	423,57	6043,2
11	186,03	166,19	500	444,70	7554,1
12	190,0	181,29	600	462,71	9064,9
13	193,7	196,40	700	478,45	10575,7
14	197,19	211,51	800	492,47	12086,5
15	200,48	226,62	900	505,16	13579,3
16	203,60	241,73	1000	516,76	15108,1
17	206,57	256,83			

Spannkraft der Dämpfe verschiedener Flüssigkeiten. Man sieht 166
aus den vorhergehenden Tabellen, daß für die Temperatur des Siedepunktes die Spannkraft des Wasserdampfes dem Drucke der Atmosphäre das Gleichgewicht hält; dies ist ganz allgemein wahr; die Spannkraft des Dampfes, welcher sich aus irgend einer kochenden Flüssigkeit bildet, ist immer dem Drucke gleich, welcher auf der Oberfläche der Flüssigkeit lastet; denn wenn sie geringer wäre, so könnte der Dampf nicht in Gestalt von Blasen im Inneren der Flüssigkeit be-

stehen; und wenn sie stärker wäre, so müßte sich der Dampf schon früher gebildet haben. Für den Siedepunkt haben die Dämpfe aller Flüssigkeiten gleiche Spannkraft. Dalton glaubte, daß für eine gleiche Anzahl Grade über oder unter dem Siedepunkte die Spannkräfte noch immer gleich seyen. Nach dem Dalton'schen Gesetze wäre es also nur nöthig, die Tafel für die Spannkraft des gesättigten Wasserdampfes zu haben und den Siedepunkt einer Flüssigkeit zu kennen, um die Spannkraft ihrer Dämpfe für alle Temperaturen zu ermitteln. Der Siedepunkt des Alkohols z. B. ist 78°; die Spannkraft des Alkoholdampfes bei 113°, also 35° über dem Siedepunkte, müßte der Spannkraft des Wasserdampfes bei 135° gleich seyn, welche 3 Atmosphären ist. Nach diesem Gesetze wäre die Spannkraft des gesättigten Alkoholdampfes bei 0° gleich 19^{mm}, weil dies die Spannkraft des Wasserdampfes bei einer Temperatur ist, welche 78° unter dem Siedepunkte des Wassers liegt. Aus den Versuchen mehrerer Physiker geht jedoch hervor, daß dies Gesetz nicht genau ist. Bei größeren Entfernungen vom Siedepunkte weicht es merklich von der Wahrheit ab, und wenn es auch als erste Annäherung einen bequemen Ueberblick erlaubt, so muß man es doch verlassen, wo Genauigkeit gefordert wird.

Es wäre zu wünschen, daß man auch über die Spannkraft der Dämpfe anderer Flüssigkeiten eben so genaue und vollständige Versuchsreihen hätte, als über den Wasserdampf. Die Resultate der wenigen hierüber angestellten Versuche sind in den folgenden Tabellen zusammengestellt.

Die Spannkraft des Weingeistdampfes in der ersten Tabelle ist nach den besten Versuchen von Ure und Schmidt, die Spannkraft des Aetherdampfes nach den Versuchen von Schmidt und Munke berechnet. Die dritte Columne giebt die Tension der Dämpfe von Schwefelkohlenstoff nach den Versuchen von Marx.

Temperatur.	Spannkraft der Dämpfe von		
	Weingeist.	Schwefelkohlenstoff.	Schwefeläther.
— 5		90^{mm}	108^{mm}
0	9^{mm}	130	148
+10	18	192	237
20	35	290	378
30	62	423	575
40	111	594	855
50	189	828	1,6 Atm.
60	310	1134	2,3
70	494	—	3,2
80	769	—	4,4
90	1,54 Atm.	—	5,9
100	2,37	—	7,9
125	12,56	—	15
250	145,2	—	151

Ueber die Spannkraft einiger condensirten Gase hat Bunsen Versuche angestellt, deren Resultate in folgender Tabelle enthalten sind:

Temperatur.	Schweflige Säure.	Cyangas.	Ammoniak.
— 37	—	—	749mm
— 20	—	800mm	—
— 15	—	1100	—
— 10	780mm	1410	—
— 5	1110	1730	3040
0	1450	2070	3610
+ 5	1910	2440	4260
10	2390	2880	4980
15	2930	3330	5780
20	3540	3800	6674
25	4200	—	—

Dichtigkeit des Wasserdampfes. Unter allen Mitteln, welche man an- 167
gewendet hat, um die Dichtigkeit des Wasserdampfes zu bestimmen, scheint das von Gay-Lussac angegebene Verfahren das einfachste und strengste zu seyn; es besteht darin, direct das Gewicht, das Volumen, die Temperatur und die Spannkraft einer gegebenen Quantität Dampf zu suchen. Der von ihm angewendete Apparat ist Fig. 467 dargestellt. Auf einem Ofen *f* steht ein gußeisernes Gefäß *c*, welches Quecksilber enthält, *g* ist eine graduirte Röhre von 3 bis 4 Decimeter Länge, welche in das Quecksilber des Gefäßes *c* eingetaucht ist. *m* ist ein Mantel von Glas, welcher mit einer geeigneten Flüssigkeit vollgegossen wird, so daß die Röhre vom Niveau des Quecksilbers in *c* an bis zur Spitze mit dieser Flüssigkeit umgeben ist. Durch das Brett *l*, welches auf dem abgeschliffenen, genau horizontalen Rande des Gefäßes *c* aufliegt, geht ein getheilter Stab *r* vertical hindurch. Vor dem Eintauchen in das Gefäß *c* muß die Röhre *g* mit Quecksilber gefüllt werden, so daß nach dem Umkehren und nach dem Eintauchen in das Quecksilber des Gefäßes *c* sich keine Luft blase an der Spitze der Röhre *g* zeigt. Man läßt nun ein Glaskügelchen, welches, in eine feine Spitze ausgezogen, fast ganz mit Wasser gefüllt und dann zugeschmolzen worden ist, in der Röhre *g* in die Höhe steigen. Wenn man glühende Kohlen in den Ofen bringt, so wird Alles erwärmt. Das Wasser in dem zugeschmolzenen Glaskügelchen dehnt sich aus und

Fig. 467.



zersprengt seine Hülle. Sogleich bilden sich Wasserdämpfe im oberen Theile der Röhre *g*, und das Quecksilber sinkt. Man steigert die Temperatur so lange, bis alles Wasser vollständig verdampft ist, und erhält dann das Ganze eine Zeit lang auf einer constanten Temperatur, während man die nöthigen Beobachtungen macht.

1. Wenn alles Wasser verdampft ist, kennt man genau das Gewicht des Dampfes, denn das Glaskügelchen muß man vorher leer, dann mit Wasser gefüllt gewogen haben; die Differenz dieser beiden Gewichte ist das Gewicht des Wassers, also auch das Gewicht des Dampfes, welcher nun im oberen Theile der Röhre *g* sich befindet.

2. Man beobachtet auf der Röhre die Anzahl der Theilstriche, welche der Dampf einnimmt. Da der Raum zwischen je zwei Theilstrichen der Röhre bei der Temperatur von 0° bekannt ist, so kann man leicht mit Berücksichtigung der Ausdehnung des Glases die Capacität zwischen zwei Theilstrichen für die Temperatur berechnen, bei welcher alle Beobachtungen gemacht wurden. Auf diese Weise bestimmt man das Volumen des Dampfes.

3. Zweckmäßig angebrachte Thermometer geben die Temperatur der Flüssigkeit in der Hülle und des Dampfes in der Röhre an.

4. Die Spannkraft des Dampfes endlich beobachtet man mit Hülfe des getheilten Stabes *r*. Man schiebt diesen Stab so weit herunter, daß sein unteres Ende eben den Quecksilberspiegel im Gefäß *c* berührt, und dann rückt man den Schieber *v* genau in die Höhe der Quecksilberkuppe in der Röhre, so daß also die Quecksilberkuppe und der untere Rand des Schiebers in einer horizontalen Linie liegen. Die Höhe des Stabes von unten bis zu dem Schieber giebt die Höhe der Quecksilbersäule in der Röhre. Diese Höhe auf 0° reducirt und von dem auf 0° reducirten Barometerstande abgezogen, giebt die Spannkraft des Dampfes. Um sicher zu seyn, daß alles Wasser vollständig verdampft ist, muß man so weit erwärmen, daß der Dampf für diese Temperatur nicht mehr gesättigt ist, daß also die beobachtete Spannkraft geringer ist, als das Maximum der Spannkraft für die beobachtete Temperatur.

Man kennt nun das Gewicht eines gegebenen Volumens Dampf, welcher bei bekannter Temperatur einen bekannten Druck ausübt, und kann danach leicht berechnen, wie viel ein Kubikcentimeter dieses Dampfes wiegt. Man kann aber nun auch leicht berechnen, wie viel ein Kubikcentimeter Luft bei demselben Drucke und bei derselben Temperatur wiegt. Ist nun das Gewicht gleicher Volumina Luft und Wasserdampf bei gleicher Temperatur und gleichem Drucke bekannt, so kann man leicht das Verhältniß der Dichtigkeit des Wasserdampfes zur Dichtigkeit der Luft bestimmen. Nach Gay-Lussac's Versuchen ist die Dichtigkeit des Wasserdampfes $^5/_8$ von der der Luft.

Man kann leicht berechnen, welchen Raum 1^{gr} Wasserdampf bei 100° und einem Druck von 760^{mm} bei dem Maximum des Druckes für diese Temperatur einnehmen muß.

Ein Kubikcentimeter Luft von 0° und einem Drucke von 760^{mm} wiegt 0,001299 Gramm. Bei unverändertem Drucke bis zu 100° erwärmt, dehnt

sich die Luft so aus, daß aus dem Einen Kubikcentimeter 1,375 Kub.-C. werden. Wenn aber 0,001299^{gr} einen Raum von 1,375 Kub.-C. einnehmen, so nimmt 1^{gr} dieser Luft einen Raum von $\frac{1,357}{0,001299} = 1058,47$ Kub.-C. ein.

Ein Gramm Wasserdampf von 100° und 760^{mm} Spannkraft muß aber einen $^8/_5$mal so großen Raum, also einen Raum von 1693,55 Kub.-C. einnehmen. Ein Kub.-C. Wasser nimmt also, wenn es bei 100° verdampft, einen sehr nahe 1700mal größeren Raum ein, vorausgesetzt, daß der Dampf sich im Maximum der Spannkraft befindet.

Aus unseren Daten kann man aber auch die Dichtigkeit d' des Wasserdampfes für irgend eine Temperatur t und irgend einen Druck p berechnen; denn wenn man mit d die Dichtigkeit bei 100° und einem Drucke von 760^{mm} bezeichnet, so findet man

$$d' = d \frac{p}{760} \frac{(1 + 100\alpha)}{(1 + \alpha t)}$$

wo α den Ausdehnungscoëfficienten der Luft bezeichnet. Nach dieser Formel sind die folgenden Tafeln berechnet, und dabei ist noch Gay-Lussac's Coëfficient $\alpha = 0,00375$ angenommen. Diese Tabellen geben die Dichtigkeit des Wasserdampfes im Maximum der Spannkraft, wie sie schon in den obigen Tabellen angegeben worden ist.

Erste Tabelle.

Dichtigkeit und Volumen des Wasserdampfes im Maximum der Spannkraft, wenn man zur Einheit die Dichtigkeit und das Volumen des flüssigen Wassers bei 0° nimmt:

von — 20° bis 100°.

Temperatur in Graden.	Spannkraft in Millim.	Dichtigkeit.	Volumen.	Temperatur in Graden.	Spannkraft in Millim.	Dichtigkeit.	Volumen.
—20	1,333	0,00000154	650588	9	8,909	0,00000919	108790
—15	1,879	212	470898	10	9,475	974	102670
—10	2,631	292	342984	11	10,074	0,00001032	99202
— 5	3,660	398	251358	12	10,707	1092	91564
0	5,059	540	182323	13	11,378	1157	86426
1	5,393	573	174495	14	12,087	1224	81686
2	5,748	609	164332	15	12,837	1299	77008
3	6,123	646	154842	16	13,630	1372	72913
4	6,523	686	145886	17	14,468	1451	68923
5	6,947	727	137488	18	15,353	1534	65201
6	7,396	772	129587	19	16,288	1622	61654
7	7,871	818	122241	20	17,314	1718	58224
8	8,575	867	115305	21	18,317	1811	55206

Fortsetzung der ersten Tabelle.

Temperatur in Graden.	Spannkraft in Millim.	Dichtigkeit.	Volumen.	Temperatur in Graden.	Spannkraft in Millim.	Dichtigkeit.	Volumen.
22	19,417	0,00001914	52260	62	158,960	0,00013760	7267
23	20,577	2021	49487	63	166,560	14374	6957
24	21,805	2133	46877	64	174,470	15010	6662
25	23,090	2252	44411	65	182,710	15668	6382
26	24,452	2376	42084	66	191,270	16356	6114
27	25,881	2507	39895	67	200,180	17060	5860
28	27,390	2643	37838	68	209,440	17797	5619
29	29,045	2794	35796	69	219,060	18566	5386
30	30,643	2938	34041	70	229,070	19355	5167
31	32,410	3097	32291	71	239,450	20174	4957
32	34,261	3263	30650	72	250,230	21013	4795
33	36,188	3435	29112	73	261,430	21889	4569
34	38,254	3619	27636	74	273,030	22794	4387
35	40,404	3809	26253	75	285,070	23789	4204
36	42,743	4017	24897	76	297,570	24702	4048
37	45,038	4219	23704	77	310,490	25699	3891
38	47,579	4442	22513	78	323,890	26739	3741
39	50,147	4666	21429	79	337,760	27789	3599
40	52,998	4916	20343	80	352,080	28889	3462
41	55,772	5156	19396	81	367,000	30025	3331
42	58,792	5418	18459	82	382,380	31195	3206
43	61,958	5691	17572	83	398,280	32399	3087
44	65,627	6023	16805	84	414,730	33637	2973
45	68,751	6274	15938	85	431,710	34916	2864
46	72,393	6585	15185	86	449,260	36237	2760
47	76,205	6910	14472	87	467,380	37590	2660
48	80,195	7242	13800	88	486,090	38984	2565
49	84,570	7602	13156	89	505,380	40417	2474
50	88,742	7970	12546	90	525,280	41891	2387
51	93,301	8354	11971	91	545,800	43405	2304
52	98,075	8753	11424	92	566,950	44956	2224
53	103,060	9174	10901	93	588,740	46556	2148
54	108,270	9606	10410	94	611,180	48201	2075
55	113,710	0,00010054	9946	95	634,270	49886	2005
56	119,390	10525	9501	96	658,050	51613	1938
57	125,310	11011	9082	97	682,590	53388	1873
58	131,500	11523	8680	98	707,630	55191	1812
59	137,940	12044	8303	99	733,460	57055	1751
60	144,660	12599	7937	100	760,000	58955	1696
61	151,700	13179	7594				

Zweite Tabelle.

Dichtigkeit und Volumen des Wasserdampfs im Maximum der Spannkraft, die Dichtigkeit und das Volumen des Wassers bei 0° gleich 1 gesetzt, von 1 bis 50 Atmosphären.

Temperatur.	Spannkraft in Atmosphären.	Dichtigkeit.	Volumen.	Temperatur.	Spannkraft in Atmosphären.	Dichtigkeit.	Volumen.
100	1	0,0005895	1696	193,7	13	0,006107	163,74
112,2	1½	0,0008563	1167,8	197,2	14	0,006527	153,10
121,4	2	0,0011147	897,09	200,5	15	0,006944	144,00
128,8	2½	0,0013673	731,39	203,6	16	0,007359	135,90
135,1	3	0,0016150	619,19	206,6	17	0,007769	128,71
140,6	3½	0,0018589	537,96	209,4	18	0,008178	122,28
145,4	4	0,0020997	476,26	212,1	19	0,008583	116,51
149,1	4½	0,0023410	427,18	214,7	20	0,008986	111,28
153,1	5	0,0025763	388,16	217,2	21	0,009387	106,53
156,8	5½	0,0028091	355,99	219,6	22	0,009785	102,19
160,2	6	0,0030402	328,93	221,9	23	0,010182	98,21
163,5	6½	0,0032683	305,98	224,2	24	0,010575	94,56
166,5	7	0,0034911	286,12	226,3	25	0,010968	91,17
169,4	7½	0,0037217	268,82	236,2	30	0,012903	77,50
172,1	8	0,0039434	253,59	244,8	35	0,014663	68,20
177,1	9	0,0043865	227,98	252,5	40	0,016644	60,08
181,6	10	0,0048226	207,36	259,5	45	0,018497	54,06
186,0	11	0,0052557	190,27	265,9	50	0,020306	40,32
190,0	12	0,0056834	175,96				

Dritte Tabelle.

Dichtigkeit und Volumen des Wasserdampfs im Maximum der Spannkraft, die Dichtigkeit und das Volumen des Wassers bei 0° zur Einheit genommen, von 100 bis 1000 Atmosphären.

Temperatur.	Spannkraft in Atmosphären.	Dichtigkeit.	Volumen.	Temperatur.	Spannkraft in Atmosphären.	Dichtigkeit.	Volumen.
311,36	100	0,037417	26,726	462,71	600	0,17791	5,621
363,58	200	0,068635	14,570	478,45	700	0,20318	4,921
397,65	300	0,097671	10,238	492,47	800	0,2279	4,387
423,57	400	0,12534	7,978	505,16	900	0,2522	3,965
444,70	500	0,15202	6,578	516,76	1000	0,276	3,622

Bei der Berechnung dieser Tafeln wurde stillschweigend angenommen, daß die Dämpfe sich bis zum Maximum der Spannkraft vollkommen eben so verhalten wie die Gase und also auch gerade so dem Mariotte'schen Gesetze folgen.

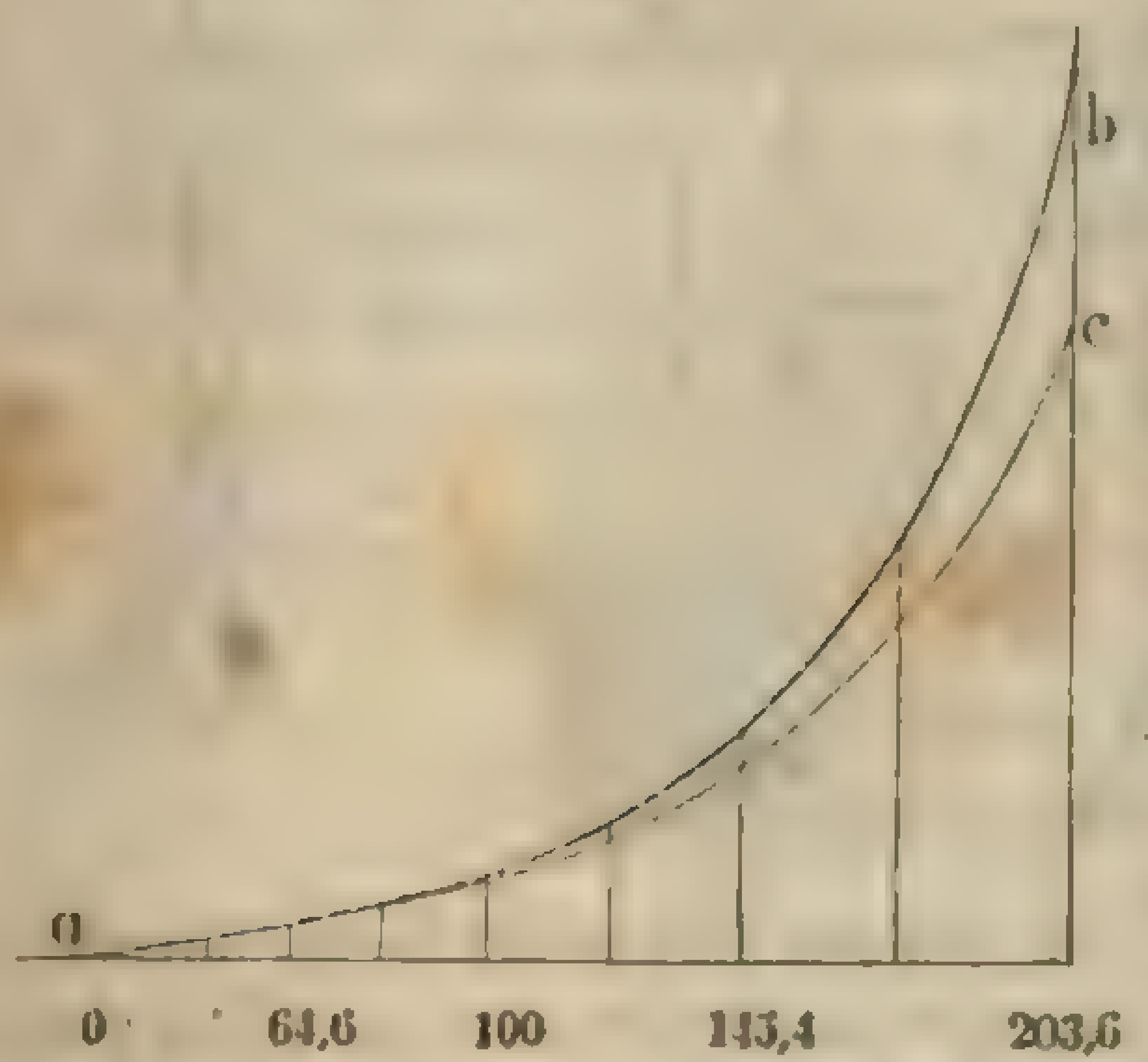
Wenn gesättigter Wasserdampf von 100°, also Wasserdampf, welcher auf die Gefäßwände einen Druck von 760^{mm} ausübt, nicht mehr mit Wasser in Berührung ist, und nun noch stärker erwärmt wird, so wird, wenn eine Vergrößerung des Volumens nicht erfolgen kann, der Druck gegen die Gefäßwände zunehmen müssen. Gesetzt, man habe die Temperatur bis auf 121,4° erhöht, so wird, wenn sich der nicht gesättigte Dampf gerade so verhält wie Luft, der Druck im Verhältniß von $1 + 100\,\alpha$ zu $1 + 121,4\,\alpha$ zunehmen, wo α wieder den Ausdehnungscoëfficienten der Luft bedeutet; der Druck wird also seyn $760 \dfrac{1 + 121,4\alpha}{1 + 100\alpha} = 760 \dfrac{1,455}{1,375} \doteq 804^{mm}$. Wenn also gesättigter Wasserdampf von 100°, ohne daß sich seine Dichtigkeit ändert, bis auf 121,4° erwärmt wird, so steigt die Spannkraft von 760^{mm} bis auf 804^{mm}. Nun aber ersehen wir aus obigen Tabellen, daß der gesättigte Dampf von 121,4° einen Druck von 2 Atmosphären, also 1520^{mm} ausübt. Wenn aber der Wasserdampf, dessen Dichtigkeit 0,0005895 ist, bei 121,4° einen Druck von 804^{mm} ausübt, so kann man, vorausgesetzt, daß der Wasserdampf bis zum Punkte seiner Sättigung dem Mariotte'schen Gesetze folgt, berechnen, in welchem Verhältniß man den Wasserdampf comprimiren muß, wenn er bei unveränderter Temperatur von 121,4° statt eines Drucks von 804^{mm} einen Druck von 1520^{mm} ausüben soll. Wenn der Druck $\dfrac{1520}{804}$ mal größer werden soll, so muß auch die Dichtigkeit $\dfrac{1520}{804}$ mal größer werden, die Dichtigkeit des gesättigten Wasserdampfs von 121,4° ist demnach $0,0005859 \cdot \dfrac{1520}{804}$.

Nach derselben Schlußweise ist die Formel Seite 503 construirt. Wenn der gesättigte Wasserdampf von 100°, dessen Dichtigkeit d seyn mag, auf t^0 erwärmt wird, ohne daß seine Dichtigkeit sich ändert, so wird die Spannkraft gleich $760 \dfrac{1 + \alpha\,.\,t}{1 + \alpha\,.\,100}$. Wenn aber die Spannkraft nicht diese, sondern p seyn soll, so muß die Dichtigkeit im Verhältniß von $760 \dfrac{1 + \alpha t}{1 + \alpha\,.\,100}$ zu p wachsen, die Dichtigkeit muß also werden $d\,.\,p : 760 \dfrac{1 + \alpha\,t}{1 + 100\alpha}$ $= d \dfrac{p}{760} \cdot \dfrac{1 + 100\,\alpha}{1 + \alpha\,t}$.

Wie wir gesehen haben, stellt die obere der beiden Curven in Fig. 468 das Gesetz dar, nach welchem die Spannkraft des gesättigten Wasserdampfs mit

der Temperatur steigt; eben so stellt die untere Curve das Gesetz dar, welches zwischen der Dichtigkeit des gesättigten Wasserdampfs und der Temperatur stattfindet. Die im Abcissenpunkt 100 errichtete Ordinate gehört beiden Curven gemeinschaftlich an, für die obere Curve repräsentirt sie den Druck einer Atmosphäre, für die untere die Dichtigkeit 0,0005895. Man sieht, daß bei wachsender Temperatur die Dichtigkeit minder rasch wächst, als die Spannkraft. Es ist dies natürlich, weil ja die vermehrte Dichtigkeit nicht die einzige Ursache der vermehrten Spannkraft des gesättigten Wasserdampfs bei höherer Temperatur ist.

Fig. 468.



Aus der Betrachtung obiger Tafeln und der Fig. 468 sieht man, wie rasch bei steigender Temperatur die Dichtigkeit des gesättigten Wasserdampfs steigt; bei fortwährender Temperaturerhöhung muß man also zu einem Punkte kommen, wo die Dichtigkeit des Dampfes fast so groß ist, wie die des Wassers. Dies ist auch durch die merkwürdigen Versuche von Cagniard de La Tour bestätigt worden. Eine sehr starke Glasröhre wurde bis zu 1/4 ihres Inhalts mit Wasser gefüllt und, nachdem alle Luft ausgetrieben war, zugeschmolzen. Wenn nun solche Röhren einer immer steigenden Temperatur ausgesetzt wurden, so schien zuletzt alles Wasser verschwunden, die Röhre schien leer zu seyn. Sobald die Temperatur etwas sank, erschien die Flüssigkeit wieder.

Bei einer Temperatur, welche dem Schmelzpunkte des Zinks nahe liegt, nimmt der gesättigte Wasserdampf einen ungefähr viermal so großen Raum ein als im flüssigen Zustande; er greift dabei das Glas an und nimmt ihm durch theilweise Auflösung seiner Bestandtheile seine Durchsichtigkeit. Demzufolge müßte ungefähr bei der Temperatur der Rothglühhitze die Dichtigkeit des gesättigten Wasserdampfs der des Wassers selbst gleich seyn.

Dichtigkeit der Dämpfe verschiedener Flüssigkeiten. Der Appa- 168
rat, welcher von Gay-Lussac zur Bestimmung der Dichtigkeit der Wasserdämpfe angewendet wurde, ist auch noch für einige andere Flüssigkeiten anwendbar, er kann jedoch nicht in allen Fällen gebraucht werden. Ein anderes Verfahren hat Dumas angegeben, es wird in chemischen Laboratorien fast durchgängig angewendet, um die Dichtigkeit von Dämpfen zu bestimmen. In einen Ballon, welcher in eine feine Spitze ausgezogen ist (Fig. 469 f. f. S.), bringt man eine hinreichende Menge der zu untersuchenden Flüssigkeit. Der Ballon wird nun, je nachdem der Siedepunkt der Flüssigkeit höher oder tiefer liegt, in einem Bade von Wasser, Oel oder Chlorzink erhitzt. Der Ballon wird an einem

Fig. 471 abgebildeten Halter befestigt und durch diesen im Bade Fig. 470 festgehalten. Durch Erhitzung des Bades bringt man die Flüssigkeit bald in's

Fig. 469.

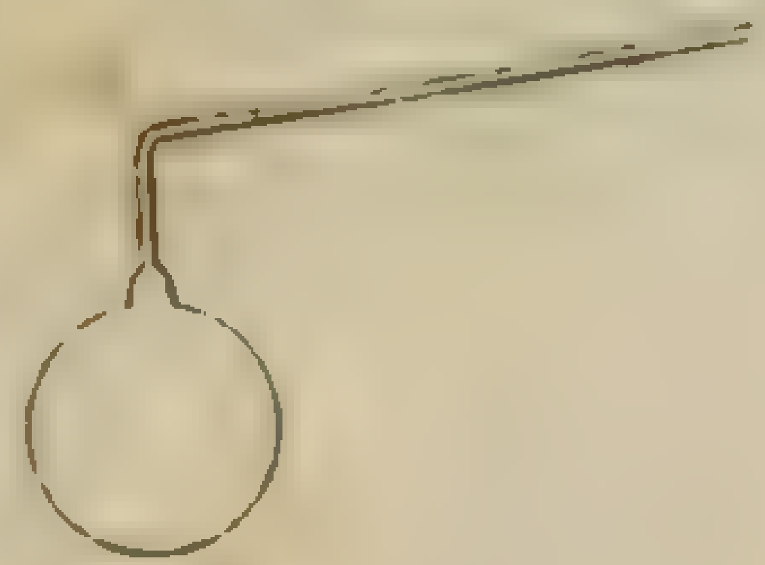


Fig. 470.

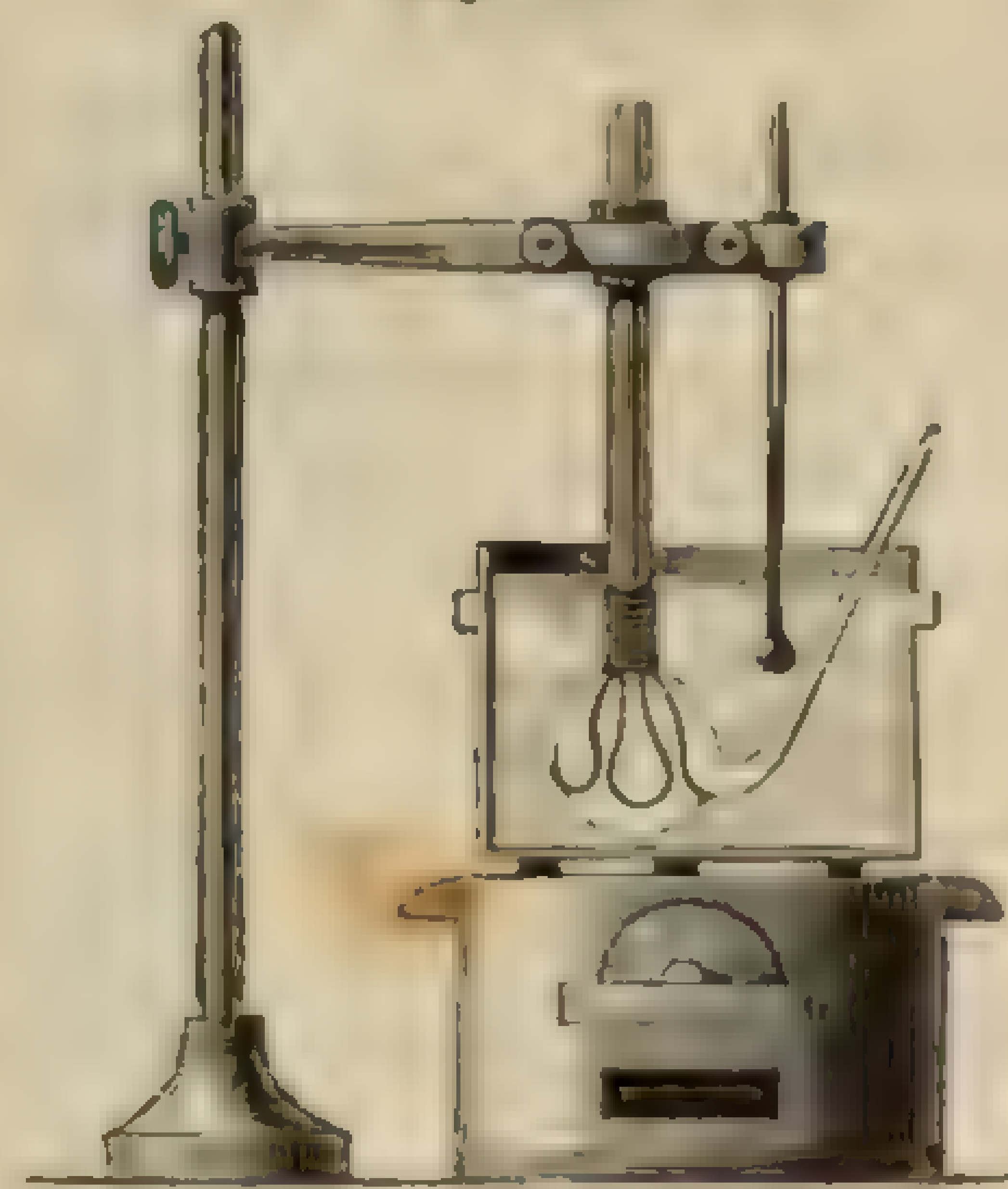


Fig. 471.



Kochen, die Dämpfe strömen mit Gewalt aus der feinen Spitze hervor. Man erhält das Bad unterdessen auf einer Temperatur, welche die des Siedepunkts der Flüssigkeit im Ballon ungefähr um 30° übersteigt. Die Temperatur des Bades wird an einem Thermometer abgelesen, welches auf die Fig. 470 dargestellte Weise befestigt ist. Sobald alle Flüssigkeit verdampft ist, was man daran sieht, daß das Ausströmen des Dampfes aus der feinen Spitze aufhört, schmilzt man diese vor dem Löthrohre zu. In dem Augenblicke des Zuschmelzens notirt man sich den Stand des Thermometers im Bade und den Barometerstand.

Der nun mit Dampf gefüllte Ballon wird gewogen, nachdem man früher schon denselben, mit trockener Luft gefüllt, gewogen hatte. Die Differenz dieser beiden Wägungen, die wir mit P bezeichnen wollen, giebt an, wie viel der im Ballon enthaltene Dampf mehr wiegt, als die trockene Luft, die ihn vorher füllte. Das Gewicht dieser Luftmenge aber kann man berechnen, wenn man das Volumen V des Ballons kennt. Es ist nämlich Vn, wenn n das Gewicht von 1 Kubikcentimeter trockener Luft für die Temperatur und den Barometerstand bezeichnet, bei welchen die erste Wägung vorgenommen wurde, V aber in Kub.-Cent. ausgedrückt ist. Das Gewicht des Dampfes im Ballon ist demnach $P + Vn$.

Um aber die Dichtigkeit des Dampfes zu erhalten, muß man sein absolutes Gewicht durch das Gewicht eines gleichen Volumens Luft von gleicher Temperatur und gleicher Tension dividiren. Bezeichnen wir mit n' das Gewicht von 1 Kub.-Cent. trockener Luft für die Temperatur und den Barometerstand, welche man im Augenblicke des Zuschmelzens der Spitze ablas, so ist Vn' das Gewicht einer Luftmenge von dem Volumen, der Temperatur und der Tension, welche der Dampf im Ballon in dem Augenblicke hatte, in welchem die Spitze zugeschmolzen wurde. Das specifische Gewicht des Dampfes ist demnach

$$s = \frac{P + Vn}{Vn'},$$

wenn das der Luft gleich 1 gesetzt wird.

Um das Volumen des Ballons zu bestimmen, taucht man die zugeschmolzene Spitze des Ballons in Wasser oder Quecksilber und bricht sie dann ab. Da sich die Dämpfe während des Erkaltens verdichtet haben, so ist im Ballon ein Vacuum entstanden, er wird sich also mit Wasser oder Quecksilber füllen. Die Menge der Flüssigkeit, welche der Ballon faßt, kann man durch Wägung oder durch Messung in graduirten Röhren bestimmen, und somit auch das Volumen des Ballons ermitteln.

Die folgende Tabelle enthält die Dichtigkeit einiger Dämpfe.

Dampf von	Beobachtete Dichtigkeit.	Gewicht von 1 Liter bei 0° u. einem Druck von 760mm in Grammen.	Namen der Beobachter.
Zinnchlorid	9,200	11,051	Dumas.
Jod	8,716	10,323	»
Titanchlorid . . .	6,856	8,881	»
Quecksilber	6,976	9,062	»
Arsenikchlorür . . .	6,301	8,185	»
Chlorkiesel	5,939	7,715	»
Jodwasserstoffäther .	5,475	7,112	Gay-Lussac.
Terpentinöl	5,013	6,512	»
Phosphorchlorür . .	4,875	6,353	Dumas.
Arsenikwasserstoff . .	2,695	3,502	»
Schwefelkohlenstoff .	2,645	3,436	Gay-Lussac.
Schwefeläther . . .	2,586	3,395	»
Salzsäureäther . . .	2,219	2,883	Thénard.
Alkohol	1,613	2,096	Gay-Lussac.
Blausäure	0,948	1,231	»
Wasser	0,623	0,810	»

In Beziehung auf die dritte Columne dieser Tafel ist noch eine Erläuterung nöthig. Sie führt die Ueberschrift »Gewicht von 1 Liter bei 0° und einem Druck von 760mm in Grammen«. Diese Ueberschrift enthält aber einen Widerspruch, denn da der Siedepunkt aller dieser Flüssigkeiten über 0° liegt, so kann die Spannkraft aller dieser Dämpfe bei 0° gar nicht 760mm betragen. Diese Columne ist aber so zu verstehen, daß sie das Gewicht von 1 Liter angiebt, wie es seyn würde, wenn man den gesättigten Dampf von 760mm Spannkraft bei unverändertem Druck auf 0° erkalten könnte, ohne daß ein Theil der Dämpfe sich als Flüssigkeit ausscheidet, kurz wenn der Dampf bei dieser Erkaltung auf 0° sich gerade wie ein permanentes Gas verhielte.

Die Dichtigkeit der gesättigten Dämpfe aller Flüssigkeiten wächst mit der Temperatur. Es folgt daraus, daß bei hinlänglich gesteigerter Temperatur eine jede Flüssigkeit in einem Raume verdampft, welcher kaum größer ist als der, welchen die Flüssigkeit zuvor selbst einnahm. Cagniard de La Tour hat in dieser Beziehung Versuche mit Weingeist, Aether und Schwefelkohlenstoff gemacht. Der Apparat, dessen er sich zu diesen Versuchen bediente, ist der Fig. 472 abgebildete. Der längere Schenkel sowohl wie der kürzere waren oben zugeschmolzen. Im längeren befand sich über dem Quecksilber trockene Luft, im kürzeren die Flüssigkeit. Der Durchmesser des längeren Schenkels betrug nur 1mm, der des kürzeren 5mm. Die Glaswände waren sehr dick, so daß sie einen starken Druck aushalten konnten. Die Spannkraft der Dämpfe, welche sich bei der Erwärmung im kürzeren Schenkel bildeten, wurde durch die Differenz der Quecksilberkuppen und die Compression der Luft im längeren Schenkel bestimmt. Beim Versuche wurde der untere Theil des Apparates in ein Oelbad gesenkt.

Fig. 472.



Das völlige Verschwinden der Flüssigkeit erfolgte unter folgenden Umständen.

	Temperatur des Verschwindens.	Volumen des Dampfes im Vergleich zu dem der Flüssigkeit.	Spannkraft der Dämpfe in Atmosphären.
Alkohol	259	3	119
Aether	200	2	37
Schwefelkohlenstoff	275	2	78

Diese Versuche beweisen unwiderleglich, daß die Dämpfe bei einer starken Verdichtung nicht mehr dem Mariotte'schen Gesetze folgen, wie wir dies bei der Berechnung der Tabellen auf S. 504 u. 505 angenommen hatten. Aus der Tabelle auf Seite 509 sehen wir, daß 1 Liter Aetherdampf bei einer Tension von einer Atmosphäre 3,39 Gramme wiegt. Nach den Versuchen von Cagniard de La Tour hat der gesättigte Aetherdampf bei 200° eine Tension von 37 Atmosphären; wenn also der Aetherdampf stets dem Mariotte'schen Gesetze folgte, so dürfte bei dieser Temperatur seine Dichtigkeit nicht ganz bis auf das 37fache gestiegen seyn; 1 Liter Aetherdampf von einer Spannkraft von 37 Atmosphären könnte demnach nicht mehr als 37 × 3,39, also nicht mehr als 125 Gramme wiegen. Wir sehen aber, daß der gesättigte Aetherdampf von 200° halb so dicht ist als der Aether selbst, 1 Liter dieses Dampfes wiegt also 358 Gramme, da 1 Liter Aether 715,5 Gramme wiegt. Die Dichtigkeit ist also fast dreimal so groß, als man hätte erwarten sollen. Aetherdampf von der bei 200° beobachteten Dichtigkeit müßte

nach dem Mariotte'schen Gesetze eine Spannkraft von 3 × 37 Atmosphären haben.

Wenn man auch zugiebt, daß die Versuche von Cagniard de La Tour nicht ganz genau sind, so sind doch diese Differenzen so außerordentlich groß, daß man sie unmöglich Beobachtungsfehlern zuschreiben kann.

Condensation der Dämpfe und Flüssigmachen der Gase. Die 169
Dämpfe verdichten sich durch Druck und Erkaltung. Nur im ungesättigten Zustande kann ein Dampf comprimirt oder erkaltet werden, ohne daß er sich theilweise in Flüssigkeit verwandelt. Man hat schon lange vermuthet, daß die sogenannten permanenten Gase sich nur dadurch von den Dämpfen unterscheiden, daß sie noch weit von ihrem Sättigungspunkte entfernt sind. Es ist zuerst H. Davy und Faraday gelungen, solche Gase zu condensiren, welche man bis dahin für permanent gehalten hatte. Das Verfahren, dessen sie sich bedienten, bestand darin, die Gase in einer gebogenen starken vollkommen verschlossenen Glasröhre zu entwickeln. Die Gase condensiren sich dann durch ihren eigenen Druck. Ein Beispiel wird dies klar machen.

Man bringe in eine starke Glasröhre etwas Cyanquecksilber, schmelze die Röhre zu und biege sie, wie Fig. 473 zeigt. Wenn man nun das längere Ende dieser Röhre, in welchem sich das Cyanquecksilber befindet, mittelst einer Spirituslampe vorsichtig erwärmt, so bildet sich Cyangas, welches sich am andern Ende verdichtet, wenn man dasselbe in kaltes Wasser eintaucht.

Fig. 473.



Um Schwefelwasserstoffgas zu verdichten, füllt man ein starkes Glasrohr ungefähr bis auf $^1/_3$ seines Inhalts mit Doppeltschwefelwasserstoff (HS_2), einer gelblichen ölartigen Flüssigkeit, und schmilzt es dann vor dem Löthrohre zu. Die Flüssigkeit zersetzt sich nach und nach von selbst in Schwefel, welcher in schönen durchsichtigen Krystallen sich ausscheidet, und Schwefelwasserstoffgas, welches, weil es nicht entweichen kann, durch seinen eigenen Druck condensirt wird und als eine klare wasserhelle Flüssigkeit über den Schwefelkrystallen schwimmt.

Auch schweflige Säure, Chlor, Ammoniak, Salzsäure, Kohlensäure, salpetrige Säure hat man durch ähnliche Verfahrungsarten flüssig gemacht. Viele andere Gase, z. B. atmosphärische Luft, Sauerstoff, Wasserstoff, Stickstoff u. s. w. hat man bisher vergebens zu condensiren versucht.

Nach den Versuchen von Thilorier hat der Dampf der flüssigen Kohlensäure bei 0° eine Spannkraft von 36, bei 30° aber schon eine Spannkraft von 73 Atmosphären.

Thilorier hat zuerst einen Apparat construirt, um eine ziemlich bedeutende Menge Kohlensäure zu condensiren; die Anwendung desselben ist aber gefährlich, indem er nicht die nöthigen Garantien gegen Explosionen bietet; und in der That sind schon mehrere Unglücke durch Platzen des Thilorier'schen Apparates entstanden. Natterer in Wien hat aber nun einen sehr zweckmäßigen, ganz sicheren Apparat zur Verdichtung der Kohlensäure, welcher in Fig. 474

Fig. 474.

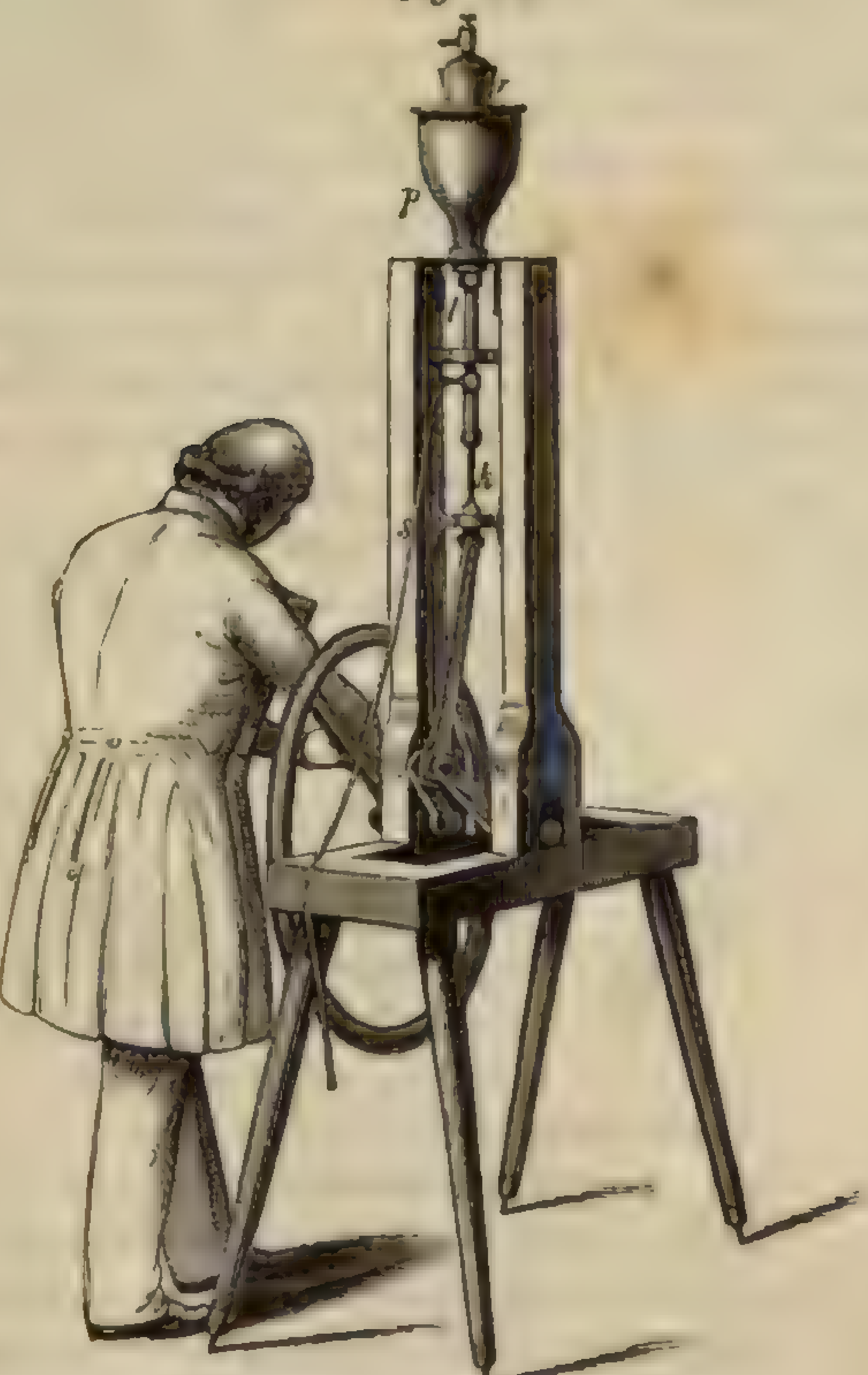


Fig. 475.



abgebildet ist, construirt; *l* ist ein Rohr, welches dem zur Ladung einer Windbüchse dienenden Rohre entspricht. Während das Rohr, welches zum Laden der Windbüchse dient, am untern Ende eine Oeffnung hat, durch welche die äußere Luft eintritt, so ist hier eine Oeffnung, an welche sich ein Schlauch *s* ansetzt, der zu einem mit Kohlensäure gefüllten Gasometer führt. In unserer Figur ist nun dieser Schlauch, aber nicht das Gasometer dargestellt. Man kann ein Gasometer von beliebiger Form anwenden. Es versteht sich von selbst, daß zwischen das Gasometer und den Verdichtungsapparat eine Chlorcalciumröhre eingeschaltet werden muß, damit das Gas von Wasserdampf befreit wird.

Oben ist an den Lauf *l* eine starke Flasche *r* von Schmiedeeisen aufgeschraubt, welche dem Windbüchsenkolben entspricht und auch ähnlich eingerichtet ist; da, wo sie auf die Röhre aufgeschraubt wird, befindet sich nämlich ein Ventil, welches sich nach innen öffnet und nach außen schließt. Die auf einen Druck von 150 Atmosphären geprüfte Flasche ist Fig. 475 im Durchschnitt dargestellt. Oben ist ein eiserner Aufsatz *g* angesetzt, in welchen eine horizontale messingene Röhre *n* mit feiner Oeffnung mündet. *g* ist in der Mitte durchbohrt, so daß, wenn man die Schraube *t* bis zu einer gewissen Gränze in die Höhe schraubt, das Gas aus der Flasche durch *g* und das Rohr *n* ausströmen kann; wenn aber *t* heruntergeschraubt wird, so ist die Ausflußöffnung verschlossen. Der untere Theil der Flasche *r* ist, wie man Fig. 474 sieht, mit einem Kupfergefäß *p* umgeben, welches mit Eisstücken und Salz gefüllt wird, um die gehörige Abkühlung zu bewirken.

Das Einpumpen des Gases in die Flasche geschieht mit Hülfe einer Kurbel und eines Schwungrades. Die Kolbenstange *k* ist unten an einem messingenen Querstücke befestigt, welches zur Sicherung der verticalen Bewegung durch Coulissen geführt wird, welche auf beiden Seiten des Gestelles angebracht sind. Die Art sowie die Fortpflanzung der Bewegung ist aus der Figur ersichtlich.

Vor dem Beginn des Versuchs wird das Gewicht des Recipienten bestimmt. Nachdem er aufgeschraubt ist, werden 20 bis 30 Umdrehungen gemacht, worauf man das Gas mit der im Recipienten befindlichen atmosphärischen Luft durch den geöffneten Hahn entweichen läßt; hierauf wird der Hahn wieder geschlossen, und nun beginnt eigentlich erst das Comprimiren. So oft man 2 bis 3 Kubikfuß Kohlensäure eingepumpt hat, wird der Recipient wieder gewogen und die Operation so lange fortgesetzt, bis die Gewichtszunahme des Recipienten ungefähr 450 Gramme beträgt, wo dann ungefähr $^2/_3$ des Recipienten mit flüssiger Kohlensäure gefüllt sind.

Auch Stickstoffoxydulgas läßt sich in diesem Apparate verdichten.

Um die verdichtete Kohlensäure in tropfbar flüssigem Zustande zu zeigen, wendet man die Vorrichtung Fig. 476 an. Sie besteht aus einer ziemlich engen, dickwandigen Glasröhre, in deren Messingfassung sich ein Hahn *h* befindet,

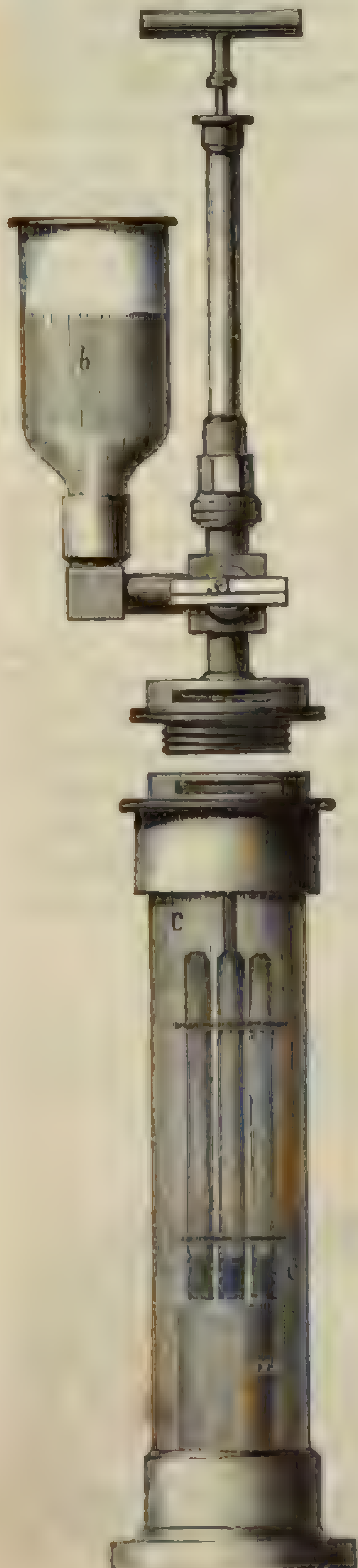
Fig. 476.



welchen unsere Figur gerade geöffnet im Durchschnitt zeigt. — Diese Fassung wird an die, zu diesem Zwecke mit einem Schraubengewinde versehene Ausströmungsröhre *n* Fig. 475 angeschraubt. Man dreht nun den Kolben um, so daß *t* unten ist, und öffnet dann den Hahn *h* und die Schraube *t*. — Sobald das Glasrohr mit flüssiger Kohlensäure gefüllt ist, werden *t* und *h* geschlossen, das Glasrohr sammt seiner Fassung von der eisernen Flasche abgeschraubt und

in einen dickwandigen Glascylinder gebracht, welcher mit kaltem Wasser gefüllt ist, um dadurch die Gefahr des Zerspringens zu verhindern. Immerhin bleibt es gefährlich, die flüssige Kohlensäure in Glasröhren einzuschließen.

Fig. 477.



Die Ausdehnung der flüssigen Kohlensäure bietet eine merkwürdige Erscheinung dar, sie ist nämlich 4mal so groß als die der Luft; während sich die Luft bei einer Temperaturerhöhung von 0° bis 30° um 0,109 ihres Volumens ausdehnt, dehnt sich die flüssige Kohlensäure unter gleichen Umständen um 0,423 ihres Volumens aus. Es folgt daraus, daß das specifische Gewicht der flüssigen Kohlensäure bei verschiedenen Temperaturen sehr ungleich sey; es ist

bei — 20°	0,90
0°	0,83
+ 30°	0,60,

die Dichtigkeit des Wassers gleich 1 gesetzt.

Um die Verhältnisse näher zu untersuchen, bei denen die Condensation der Gase stattfindet, ist wohl kein Apparat geeigneter, als der in Fig. 477 dargestellte, welcher, so viel ich weiß, von Magnus herrührt

In einen Glascylinder *c* von sehr dickem Glase, welcher unten mit einem Messingfuß versehen ist, damit er sicher steht, wird ein Gefäß *a* von Eisenblech eingesetzt, welches in der Mitte mit einem Stabe versehen ist, mittelst dessen man es in den Glascylinder hineinsetzen und wieder herausnehmen kann. Dieses Gefäß ist mit Quecksilber gefüllt und in dieses Quecksilber tauchen vier Röhrchen, von denen das eine Luft, das zweite schweflige Säure, das dritte Ammoniakgas, das letzte endlich Cyangas enthält. Die Röhrchen sind unten offen, die Gase also durch Quecksilber abgesperrt.

Wenn dieses Gefäß mit seinen Glasröhrchen in den Cylinder eingesetzt ist, so wird er ganz mit Wasser gefüllt und in seine obere Messingfassung der Aufsatz aufgeschraubt, welchen die Figur zeigt.

Dieser Aufsatz ist mit einer Druckpumpe versehen. Der Hahn *s* ist in denselben Richtungen durchbohrt, wie es auf seinem Griffe durch Striche angedeutet ist; steht er, wie es die Figur zeigt, so ist also das Wassergefäß *b* durch den Hahn *s* mit der Pumpe in Verbindung; wird nun der Kolben der kleinen Pumpe in die Höhe gezogen, so wird Wasser aus *b* in die Pumpe gesaugt.

Dreht man jetzt den Hahn *s* um eine Viertelumdrehung nach der rechten Seite hin, so kommt das Pumpenrohr mit dem Glascylinder *c* in Verbindung, die Verbindung des Gefäßes *b* mit der Pumpe ist aber abgesperrt; wenn also nun der Pumpenkolben niedergedrückt wird, so wird das zuvor aus *b* eingesaugte Wasser in den Glascylinder *c*, und dadurch das Quecksilber aus *a* in die Gasröhren gepreßt, in allen diesen Röhren wird also das Gas zusammengedrückt.

Bringt man, nach der linken drehend, den Hahn wieder in seine ursprüngliche Stellung, so läßt sich dieselbe Operation wiederholen, und so kann man die Gase mehr und mehr comprimiren.

Das Röhrchen, welches die Luft enthält, ist graduirt und dient dazu, die Stärke des Druckes zu messen, welchem die Gase ausgesetzt sind. Ist die Luft bis auf $^1/_2$, $^1/_4$, $^1/_8$ ihres ursprünglichen Volumens comprimirt, so ist der Druck, welchem die Gase ausgesetzt sind, gleich 2, 4, 8 Atmosphären.

Im Anfang steigt das Quecksilber in allen Röhrchen gleichmäßig; die Gase verhalten sich also ganz wie die Luft, und dies Verhalten zeigt jeder Dampf, wenn er nicht im Maximum seiner Spannkraft ist, wenn ein gegebener Raum noch nicht so viel Dampf enthält, als bei der bestehenden Temperatur möglich ist. Durch fortwährende Compression der genannten Gase wird aber bald dieser Punkt erreicht. Bei einer Temperatur von 15° wird die schweflige Säure zu einem gesättigten Dampf, wenn sie durch einen Druck von nahezu vier Atmosphären comprimirt ist, wenn also die Luft in dem graduirten Röhrchen noch etwas mehr als den vierten Theil ihres Volumens einnimmt. Ist diese Gränze erreicht, so sieht man, wie sich das Innere des Röhrchens, welches die schweflige Säure enthält, gleichsam mit Thautröpfchen bekleidet, weil ein Theil des Gases schon zu Flüssigkeit verdichtet ist. Pumpt man nun noch weiter fort, so wird die schweflige Säure alsbald vollständig in eine wasserhelle Flüssigkeit verwandelt.

Dieselben Erscheinungen beobachtet man auch beim Cyangas und beim Ammoniakgas, nur tritt ihre Condensation erst bei einem stärkeren Drucke ein.

Anfangs ist die Volumenverminderung in allen vier Röhren gleich, sobald aber für ein Gas der erwähnte Gränzpunkt erreicht ist, wird bei fernerem Pumpen sein Volumen bei weitem rascher abnehmen, das Quecksilber steigt rasch bis oben hin und über demselben befindet sich dann nur noch eine Flüssigkeit.

Hat man die drei Gase vollständig zu tropfbaren Flüssigkeiten condensirt, so kann man nun bei Oeffnung des Apparates die umgekehrte Erscheinungsreihe beobachten.

Bringt man den Hahn *s* in eine solche Stellung, daß der Glascylinder *c* mit dem Wassergefäß *b* in Verbindung kommt, so tritt das vorher eingepumpte

Wasser wieder aus *c* nach *b* zurück, die Gase dehnen sich wieder aus. Man kann nun aber den Hahn allmälig drehen, so daß der Druck in *c* nur nach und nach abnimmt, und dabei beobachtet man folgende Erscheinungen:

Anfangs dehnt sich nur die Luft aus; in den anderen Röhren sinkt das Quecksilber noch nicht, bis der Punkt erreicht ist, wo die Spannkraft der Dämpfe dem Druck das Gleichgewicht halten kann; in diesem Moment bilden sich aus der Flüssigkeit Dämpfe, die das Quecksilber des entsprechenden Röhrchens nun so rasch niederdrücken, daß es alsbald den Stand des Quecksilbers in der Luftröhre erreicht hat. Dies findet natürlich zuerst beim Ammoniak Statt. Schließt man den Hahn in dem Augenblicke wieder, wo sich die Ammoniakdämpfe gebildet und das Quecksilber niedergedrückt haben, so steht nun in der Luft- und in der Ammoniakröhre das Quecksilber gleich hoch, in den beiden anderen Röhren aber hat sich noch gar kein Gas aus der Flüssigkeit entwickelt. Läßt der Druck ferner nach, so wird sich zunächst aus dem flüssigen Cyangas, zuletzt aber aus der flüssigen schwefligen Säure wieder Gas bilden, und das Quecksilber alsbald so weit niederdrücken, daß es gleiche Höhe mit dem in der Luftröhre hat.

Das rasche Sinken des Quecksilbers rührt aber daher, daß wenn einmal der Druck so weit abgenommen hat, daß er der Spannkraft der bei dieser Temperatur aus der Flüssigkeit sich bildenden Dämpfe gleich ist, nun auf einmal alle Flüssigkeit in die Gasform übergeht und das Quecksilber sehr rasch niederdrückt.

170 **Die Dampfmaschine.** Der Wasserdampf gehört zu den mächtigsten bewegenden Kräften, die uns zu Gebote stehen. Es ist kein Zweifel, daß der ungeheure Aufschwung, dessen sich die Industrie und der Verkehr in den neuesten Zeiten zu erfreuen haben, der Anwendung des Wasserdampfs zu verdanken ist. Der Wasserdampf liefert uns eine Kraft, deren wir auf's Vollkommenste Meister sind, der wir jede nur beliebige Intensität geben können, die wir überall leicht erzeugen und anbringen können.

Die Dampfmaschine spielt im praktischen Leben gegenwärtig eine so bedeutende Rolle, daß jeder Gebildete sich gern über die Grundzüge ihrer Construction unterrichten will, und diesen Unterricht sucht er natürlich zuerst in den Lehrbüchern der Physik. Es kann hier natürlich nicht die Rede davon seyn, in Beziehung auf die Construction der Dampfmaschinen und die Geschichte ihrer Erfindung in's Detail einzugehen; der Inhalt dieser Paragraphen soll nur dazu dienen, dem Leser die Orientirung in der Einrichtung der wichtigsten Arten von Dampfmaschinen zu erleichtern.

Die Idee, den Wasserdampf als bewegende Kraft zu benutzen, ist sehr alt; schon Hero in Alexandrien construirte einen Apparat, welcher durch die Reaction des ausströmenden Wasserdampfs ungefähr so in Rotationsbewegung gesetzt wurde, wie das Segner'sche Wasserrad. Ein italienischer Mathematiker, Brancas, ließ den mit Gewalt aus einer kleinen Oeffnung eines Dampfkessels ausströmenden Dampf gegen die Schaufeln eines Rades stoßen, welches

dadurch umgedreht wurde. Wie außerordentlich stark die mechanische Kraft des Wasserdampfs bei höheren Temperaturen werden könne, hat zuerst Papin mittelst des Ventils an seinem Digestor nachgewiesen. Im Jahre 1687 construirte er einen Apparat, welcher gewissermaßen die erste Kolbenmaschine genannt werden kann und dessen Spiel aus Fig. 478 ersichtlich ist. An eine ungefähr 1 Zoll weite Glasröhre ist unten eine Kugel angeblasen, welche etwas Wasser enthält; in der Röhre aber bewegt sich ein Kolben p, welcher mit etwas Werg umwickelt und durch Fett vollkommen schließend und möglich leicht beweglich gemacht ist. Nehmen wir an, der Kolben befinde sich am unteren Ende der Röhre, so wird er durch die entwickelten Dämpfe in die Höhe getrieben werden, wenn man die Kugel erwärmt. Wenn der Kolben oben angekommen ist, taucht man die Kugel in kaltes Wasser; dadurch verdichten sich die Dämpfe im Innern, es entsteht ein verdünnter Raum, der Druck der atmosphärischen Luft, welcher auf der oberen Fläche des Kolbens lastet, drückt ihn also nieder. Bei einer abermaligen Erwärmung wiederholt sich dasselbe Kolbenspiel. Papin stellte ganz in dieser Art Versuche an; seine Cylinder, welche von Gußeisen waren, hatten mehrere Fuß Durchmesser und eine entsprechende Höhe. Sie wurden noch lange im Gießhause zu Kassel aufbewahrt, bis sie endlich beim Brande dieses Gebäudes, im Jahre 1836, zu Grunde gingen.

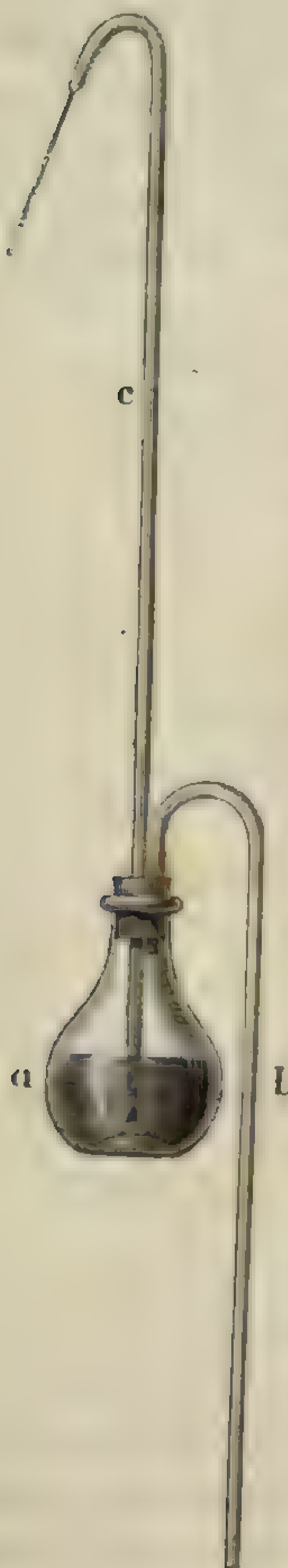
Fig. 478.



Die erste praktisch angewendete Dampfmaschine construirte Savary im Jahre 1688. Schon früher hatte Salomon de Caus, in einem zu Frankfurt im Jahr 1615 erschienenen Werke, gezeigt, daß man durch den Druck der Dämpfe Wasser über sein früheres Niveau heben, und durch Papin's Versuche wurde nachgewiesen, daß man durch Condensation der Dämpfe einen leeren Raum erzeugen könne. In Savary's Maschine ist Beides in Anwendung gebracht; das Spiel derselben läßt sich leicht durch den Apparat Fig. 479 (s. f. S.) anschaulich machen. Ein Glaskolben a, welcher etwas Wasser enthält, ist durch einen Korkstopfen verschlossen, durch welchen zwei Glasröhren hindurchgehen; die eine b, welche nach unten gebogen ist, ragt nicht weiter in den Ballon hinein, die andere c, welche gerade aufsteigt und nur oben etwas umgebogen ist, geht fast bis auf den Boden des Ballons. Das obere Ende der Röhre c sey durch einen Korkstopfen verschlossen, so wird, wenn man den Ballon mittelst einer Spirituslampe erwärmt, das Wasser bald in's Kochen kommen, die Dämpfe entweichen durch die Röhre b und nehmen auch die Luft im Ballon mit fort. Wenn das Kochen einige Zeit fortgedauert hat, taucht man das untere Ende der Röhre b in ein Gefäß mit Wasser und entfernt die Spirituslampe unter dem Ballon. Die Dämpfe in a verdichten sich und die Folge davon ist, daß das Wasser in der Röhre b aufsteigt und sich in das Gefäß a ergießt. Wenn es etwa bis zur Hälfte gefüllt ist, verschließe man das untere Ende der Röhre b

mit einem Kork, nehme den Stopfen von *c* weg und bringe von Neuem Feuer unter den Ballon. Die Dämpfe, die sich nun im oberen Theile des Kolbens bilden, können nicht entweichen, sie drücken auf den Spiegel des Wassers und machen, daß es in die Röhre *c* steigt, um oben auszufließen. Durch ein abermaliges Erkalten des Ballons kann man von Neuem Wasser aus einem tieferen Gefäße durch das Saugrohr *b* in den Ballon *a* aufsaugen und durch abermaliges Erwärmen dasselbe noch weiter im Steigrohre *c* heben. — Da die Savary'schen Maschinen nicht mehr angewendet werden, so wird es wohl genügen, das Princip zu erläutern, ohne weiter auf die Beschreibung ihrer Construction einzugehen. Die Savary'schen Maschinen wurden angewendet, um das Grubenwasser aus Bergwerken fortzuschaffen.

Fig. 479.



171 Zu demselben Zwecke wurde auch Newkomen's atmosphärische Maschine angewendet, welche in Fig. 479 abgebildet ist. Ein Cylinder ist durch eine Röhre mit dem Dampfkessel verbunden, die Verbindung kann jedoch durch einen Hahn *a* nach Belieben unterbrochen und wieder hergestellt werden. In dem Cylinder bewegt sich ein Kolben luftdicht auf und ab. In unserer Zeichnung hat er gerade seine höchste Stellung erreicht. Wenn der Kolben durch den aus dem Kessel kommenden Dampf in die Höhe getrieben worden ist, wird der Hahn *a* geschlossen, dagegen ein zweiter Hahn *b* geöffnet, durch welchen nun kaltes Wasser aus dem Reservoir *c* in den Cylinder eingespritzt wird. Dieses kalte Wasser condensirt die Dämpfe im Cylinder, und der von außen auf den Kolben wirkende Druck der atmosphärischen Luft treibt ihn nieder, wie wir dies ja schon an dem Apparate Fig. 478 gesehen haben.

Die auf- und niedergehende Bewegung des Kolbens soll aber eine auf- und niedergehende Bewegung einer Pumpenstange bewirken, und dies geschieht auf folgende Weise. An dem Kolben ist eine Kette befestigt, welche an dem einen Arme eines Balanciers angehängt ist, an dessen anderem Arme eine ähnliche Kette mit der Pumpenstange hängt. Durch den Niedergang des Kolbens wird die Pumpenstange gehoben. Wenn aber die Kraft des Dampfes den Kolben aufwärts treibt, so kann sich diese Bewegung nicht dem Balancier mittheilen, weil die biegsame Kette dieselbe nicht fortpflanzt. Der Niedergang der Pumpenstange kann nur dadurch bewirkt werden, daß die Pumpenstange so ist, daß sie durch ihr eigenes Gewicht niedergeht, wenn auf der anderen Balanciers keine Kraft entgegenwirkt.

Das Wasser, welches in den Cylinder eingespritzt wird, muß mit dem durch Condensation des Dampfes entstandenen fortgeschafft werden, indem sich sonst

Fig. 480.



bald der ganze Cylinder mit Wasser füllen würde. Der Abfluß des Wassers aus dem Cylinder findet nun durch die Röhre *f* Statt, deren unteres Ende, in ein Reservoir mit Wasser eintauchend, mit einem sich nach Außen öffnenden, nach Innen schließenden Ventil versehen ist. Während der Kolben aufwärts getrieben wird, ist die Tension der Dämpfe im Cylinder größer als der Druck der Atmosphäre. Dieser Druck der Dämpfe drückt nun das Wasser, welches sich im Cylinder befindet, durch die Röhre *f* (Fig. 480) hindurch gegen das erwähnte Ventil, welches sich öffnet, um das Wasser austreten zu lassen; sobald aber die Dämpfe condensirt werden, erhält der atmosphärische Druck das Uebergewicht und schließt das Ventil am Ende der Röhre *f*, so daß kein Wasser hier eindringen kann.

Die Wassermenge, welche durch jeden Hub der Pumpenstange gefördert werden kann, hängt natürlich von der Größe des Kolbens ab. Bekanntlich drückt die Atmosphäre auf jedes Quadratcentimeter Oberfläche mit einer Kraft, welche ungefähr dem Gewichte von 1 Kilogramm gleich ist. Wenn nun die Oberfläche des Kolbens 1000 Quadratcentimeter betrüge, so würde noch ein Nie-

dergang des Kolbens erfolgen, wenn die Pumpenstange sammt der zu hebenden Wassermasse ein Gewicht von 1000 Kilogrammen hat, vorausgesetzt, daß im Cylinder ein vollkommenes Vacuum erzeugt werden könnte, was nun freilich nicht der Fall ist.

Bei dieser Maschine, wie sie Newkomen construirt hatte, war stets eine Person beschäftigt, um die Hähne *a* und *b* zur gehörigen Zeit zu drehen. Ein zu diesem Geschäfte angestellter Knabe, Humphry Potter, welchem die einförmige Handhabung der Ventile langweilig war, ersann ein Mittel, das Oeffnen und Schließen der Hähne durch die Maschine selbst bewirken zu lassen, wodurch wieder ein großer Schritt zur Vervollkommnung der Dampfmaschinen vorwärts gethan war. Potter band Schnüre an die Griffe, durch welche die Hähne gedreht wurden, und führte sie zum Balancier, an welchem er sie dergestalt befestigte, daß derselbe, wenn er sich hob und senkte, die Schnüre anzog und die Hähne mit der größten Regelmäßigkeit öffnete und schloß.

Newkomen's Maschinen erhielten den Namen der atmosphärischen, weil das Heben des Wassers durch den Druck der Atmosphäre auf den Kolben bewirkt wurde. Sie waren sehr verbreitet, und zwar nicht allein in England, sondern auch auf dem Continente.

Im Vergleich zum verbrauchten Brennmaterial giebt die atmosphärische Maschine doch nur einen sehr geringen Nutzeffect, es wird eine bedeutende Menge Wärme nutzlos verschwendet. Der Grund davon ist leicht einzusehen. Um eine möglichst vollkommene Condensation der Dämpfe im Cylinder zu erhalten, muß eine ziemlich bedeutende Menge kalten Wassers eingespritzt werden, dadurch aber werden die Cylinderwände selbst erkaltet. Wenn nun der Hahn *b* geschlossen und *a* wieder geöffnet wird, so kommen die aus dem Kessel aufsteigenden Dämpfe mit den kälteren Wänden in Berührung, sie werden verdichtet und können mithin nichts zur Hebung des Kolbens beitragen, eine bedeutende Menge Dampf wird also lediglich dazu verschwendet, die Cylinderwände allmälig wieder zu erwärmen, damit diese Wärme beim abermaligen Niedergange des Kolbens wieder verloren geht.

Jakob Watt war im Winter 1763 beauftragt worden, das Modell einer atmosphärischen Maschine, welches der Universität zu Glasgow gehörte, auszubessern. Als er mit dem Modell Versuche anstellte, sah er ein, daß die Maschine bei Weitem mehr Dampf verbrauche, als zum Spiele des Kolbens nöthig sey. Er sann darüber nach, wie dem Uebelstande abzuhelfen sey, und kam auf den glücklichen Gedanken, einen von dem Cylinder abgesonderten Condensator anzubringen, und somit war der erste Schritt in der glänzenden Laufbahn gethan, die Watt's Namen unsterblich macht.

Ein weiterer sehr wesentlicher Fortschritt bestand darin, daß Watt die alternirende Bewegung des Kolbens in eine gleichförmig kreisförmige Bewegung verwandelte.

Aus den Watt'schen Dampfmaschinen entwickelten sich später dadurch, daß man stärker gespannte Dämpfe anwendete, was eine Weglassung des Condensators möglich machte, die sogenannten Hochdruckdampfmaschinen, die wir ihrer

größeren Einfachheit wegen zum Ausgangspunkt unserer weiteren Betrachtungen wählen wollen. Ist einmal die Hochdruckmaschine richtig verstanden, dann ist es auch leicht, eine klare Vorstellung von der complicirten Watt'schen Niederdruck Maschine zu bekommen.

Die Hochdruckmaschine. Fig. 481 (s. f. S.) stellt eine Hochdruckdampfmaschine möglichst einfacher Construction im Durchschnitt, Fig. 482 stellt von derselben Maschine eine vordere Ansicht dar. Durch das Rohr z gelangt der Dampf aus dem Dampfkessel zunächst in den Dampfraum K, von welchem aus zwei Canäle zum Cylinder A führen; der eine mündet am oberen Ende des Cylinders bei e, der andere am unteren Ende bei d. Durch den Vertheilungsschieber, den wir alsbald näher betrachten wollen, wird bewirkt, daß der Dampf abwechselnd unten und dann wieder oben in den Cylinder einströmt und den Kolben C abwechselnd auf und nieder treibt. 172

Die Kolbenstange bewegt sich luft- und dampfdicht durch eine Stopfbüchse, welche sich in der Mitte des oberen Cylinderdeckels befindet.

An der Kolbenstange ist zunächst die Pleulstange (Treibstange) P befestigt, welche durch Vermittelung der Kurbel Q die alternirende Bewegung des Kolbens in eine gleichförmige Rotationsbewegung verwandelt. Die Umdrehungsaxe der Kurbel Q ist die Hauptaxe der Maschine, welche in Bewegung gesetzt werden soll; an dieser Axe ist auch das Schwungrad X befestigt, welches dazu dient, kleinere Ungleichheiten im Gang der Maschine auszugleichen.

Um den verticalen Gang der Kolbenstange zu sichern, ist am oberen Ende derselben ein Querstück q Fig. 482 angebracht, welches durch die zu beiden Seiten stehenden eisernen Säulen l geführt wird.

Die Bewegung des Kolbens C ist begreiflicher Weise nicht gleichförmig, da derselbe am oberen und unteren Ende seiner Bahn momentan zur Ruhe kommt, um dann die Richtung seiner Bewegung umzukehren. Seine Geschwindigkeit ist am größten, wenn er eben die Mitte des Cylinders passirt; sie nimmt um so mehr ab, je mehr er sich dem oberen oder unteren Ende des Cylinders nähert. Betrachten wir nun die Bewegung der Kurbel, so finden wir, daß bei gleichförmiger Umdrehungsgeschwindigkeit die Bewegung in verticalem Sinne dennoch sehr veränderlich ist. Der Kurbelarm steht wagerecht, wenn der Kolben C sich in der Mitte des Cylinders befindet; in diesem Momente hat die Bewegung der Kurbel eine verticale Richtung; wenn aber der Kolben C seine höchste oder tiefste Stellung hat, so bewegt sich die Kurbel in horizontaler Richtung. Der verticale Antheil der Kurbelbewegung ist der Bewegung des Kolbens ganz gleich; in dem Maaße, in welchem die Kurbelbewegung mehr horizontal wird, nimmt die Geschwindigkeit des Kolbens ab, ohne daß dadurch eine Verminderung in der Umdrehungsgeschwindigkeit der Kurbel erfolgte.

Der Durchmesser der Kurbelbahn ist begreiflicher Weise der Höhe des Cylinders, die Dicke des Kolbens abgerechnet, gleich; die Länge des Kurbelarms ist demnach der halben Hubshöhe des Kolbens gleich.

Das Schwungrad X dient dazu, die Bewegung der Maschine gleichförmig

Fig. 481.

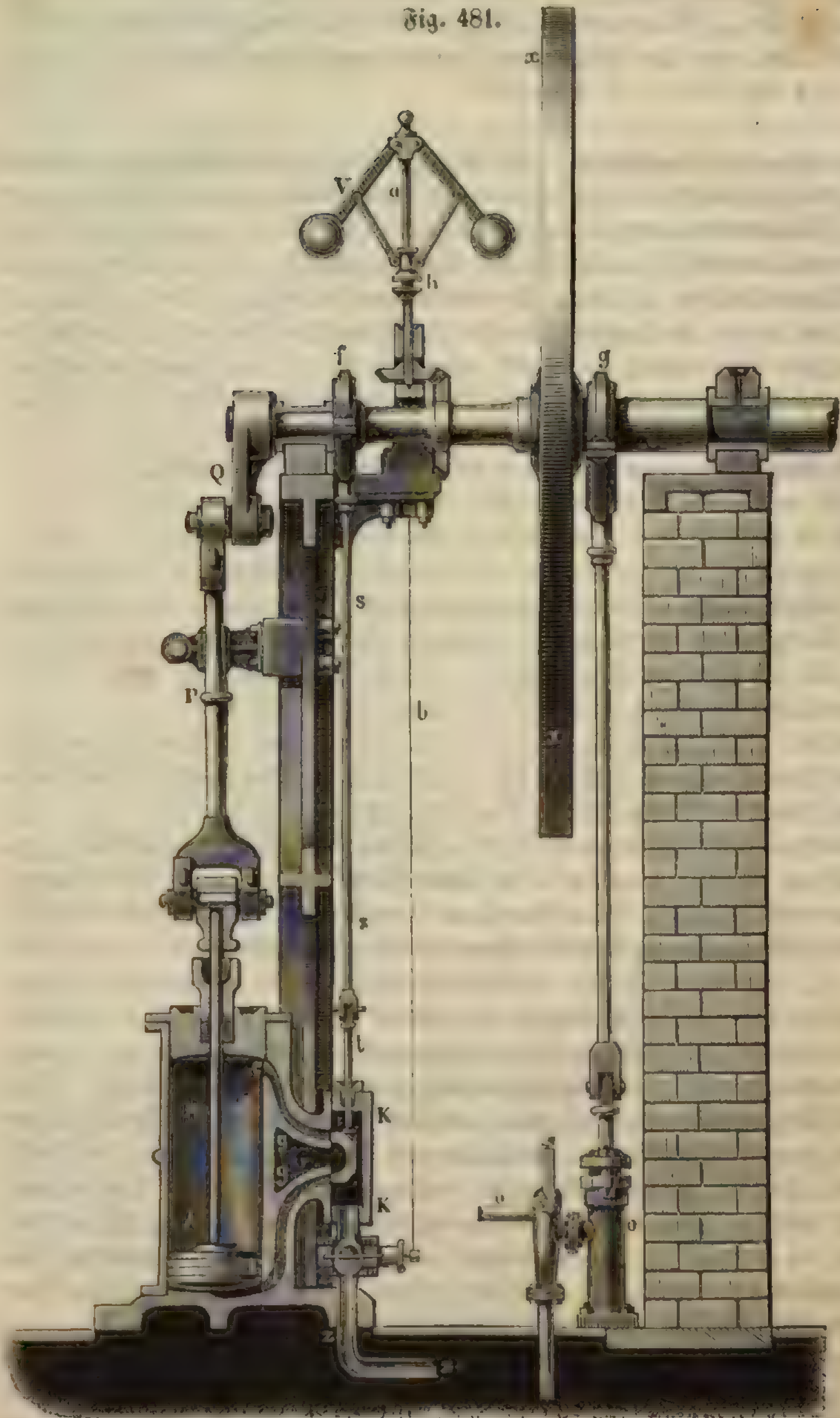
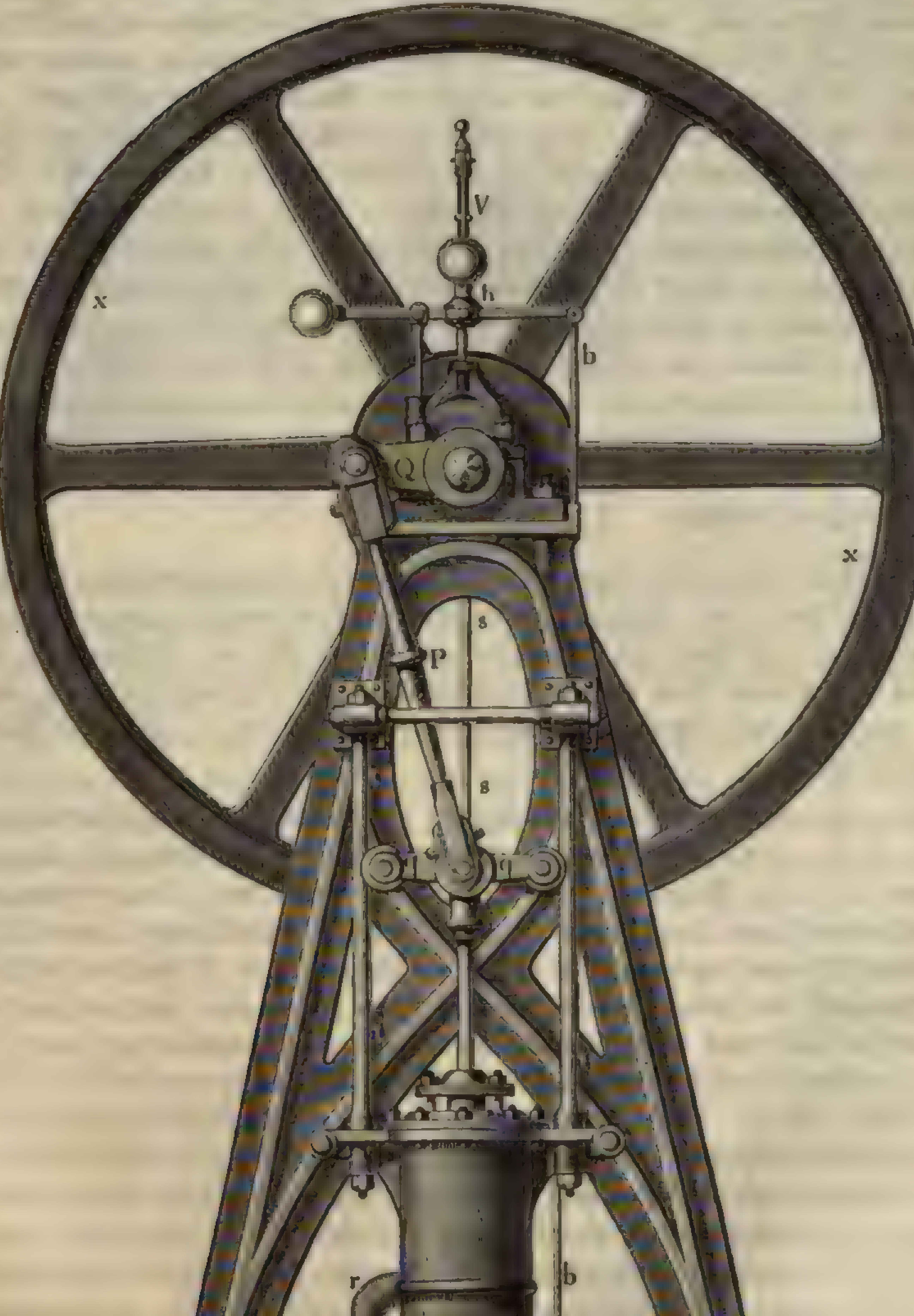


Fig. 482.

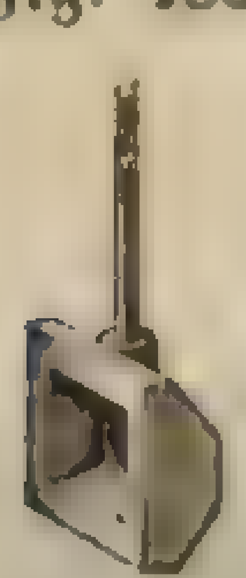


zu erhalten. Wenn auch der Druck des Dampfes auf den Kolben ganz unveränderlich wäre, so würde er doch nicht bei allen Stellungen der Kurbel gleichviel zu deren Umdrehung beitragen können. In der That kann man den Druck, welcher durch die Treibstange P auf die Kurbel wirkt, in zwei zu einander rechtwinklige Kräfte zerlegt denken; die eine, in der Richtung der Kurbel selbst, als Druck auf die Axe wirkend, trägt nichts zur Umdrehung bei; diese wird ganz allein durch die andere tangential zur Kurbelbahn wirkende hervorgebracht. Die Größe dieser beiden Kräfte ändert sich aber in jedem Momente. Wenn der Kurbelarm vertical steht, wirkt jeder Druck, welcher vom Kolben ausgeht, einzig und allein als Druck auf die Kurbelaxe. Wenn in dieser Stellung die Maschine stillstände, so würde der größte Druck auf den Kolben sie nicht in Bewegung setzen können; daß also die Maschine, indem sie in diese Stellung kommt, nicht absolut stillstehen bleibt, rührt einzig und allein daher, daß die einzelnen Maschinentheile vermöge ihrer Trägheit ihre Bewegung fortsetzen, gerade so wie ein Pendel, wenn es in der Ruhelage ankommt, doch vermöge seiner Trägheit die Bewegung fortsetzt.

Ueberhaupt wird der Lauf der Maschine eine Beschleunigung erfahren, während sich der Kolben in dem mittleren Theile des Cylinders bewegt; dagegen tritt eine Verzögerung im Laufe der Maschine ein, wenn sich der Kolben nahe am oberen oder unteren Ende des Cylinders befindet; diese Ungleichförmigkeiten werden aber durch das Schwungrad um so mehr ausgeglichen, je größer die Masse desselben ist.

Betrachten wir nun die Steuerung der Maschine, d. h. die Vorrichtung, durch welche bewirkt wird, daß der aus dem Kessel kommende Dampf, welcher bei diesen Maschinen eine Spannkraft von 4 bis 6 Atmosphären erreicht, abwechselnd unten und dann wieder oben in den Cylinder eintritt. In der dem Cylinder zugekehrten Wand des Dampfraumes K befinden sich drei Oeffnungen, von denen die eine mit dem oberen, die andere mit dem unteren Theile des Cylinders in Verbindung steht, während die mittlere zu einer Höhlung g führt, aus welcher der verbrauchte Dampf durch das Rohr r in die freie Luft gelangt. Vor diesen Oeffnungen bewegt sich nun der Vertheilungsschieber, dessen Einrichtung aus Fig. 483 näher zu ersehen ist. In der Stellung, wie sie Fig. 481 zeigt, sind beide Canäle durch den Schieber verschlossen, es strömt gar kein Dampf in den Cylinder, denn es ist ja dies der Moment, in welchem der Kolben gerade seine tiefste Stellung hat, in welchem also die Maschine im sogenannten todten Punkte angelangt ist. In dem Maaße aber, als der Cylinder steigt, wird auch der Schieber gehoben, er erreicht seine höchste Stellung, wenn der Kolben gerade die Mitte des Cylinders erreicht, also seine größte Geschwindigkeit hat. In diesem Momente ist die untere Oeffnung ganz frei, Fig. 484, so daß der Dampf mit voller Kraft in den unteren Theil des Cylinders einströmen kann, während der verbrauchte Dampf aus dem oberen

Fig. 483.



Theil des Cylinders durch den Canal *e* und die Höhlung des Schiebers nach *g* gelangt und von da durch *r* entweicht.

Fig. 484.

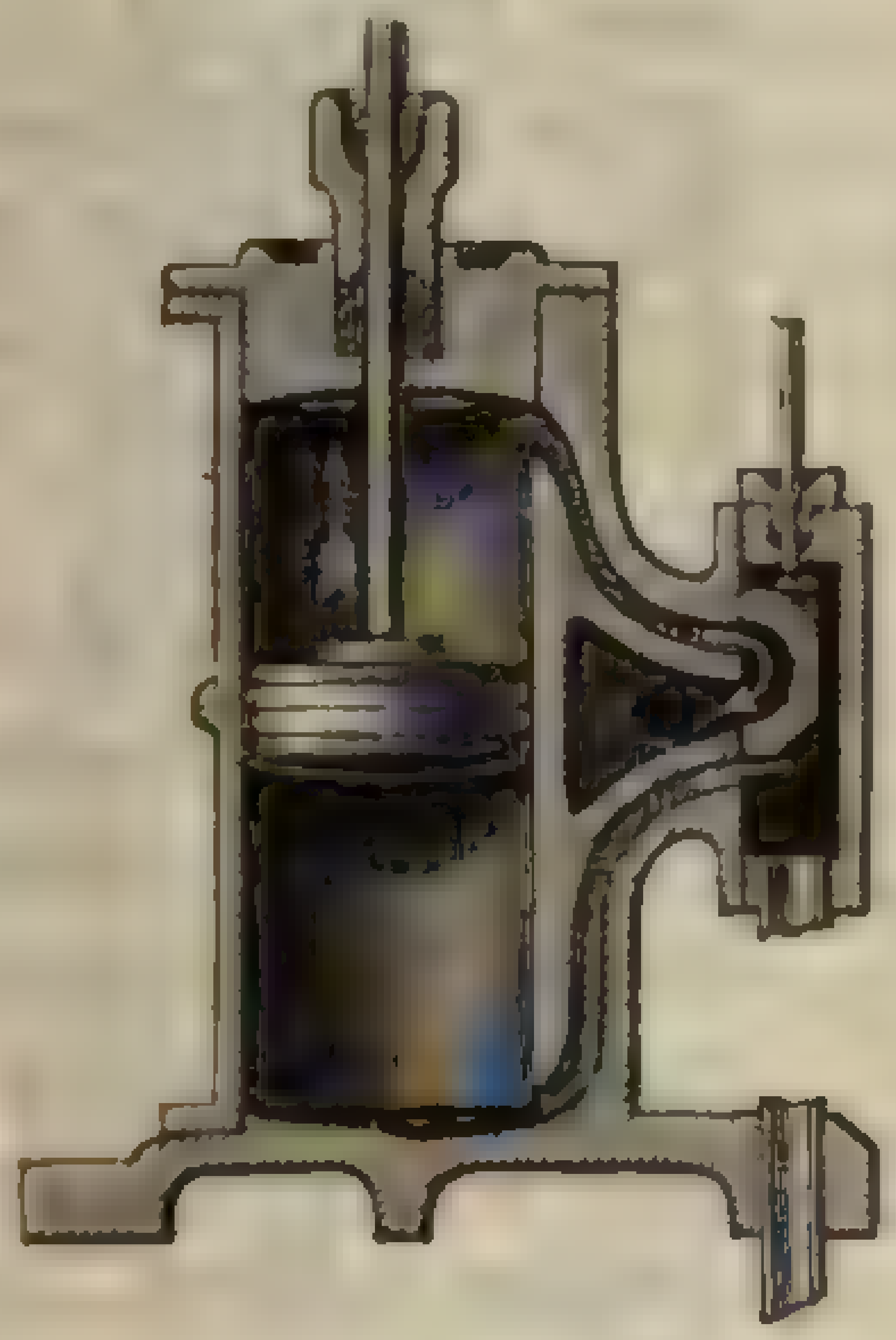
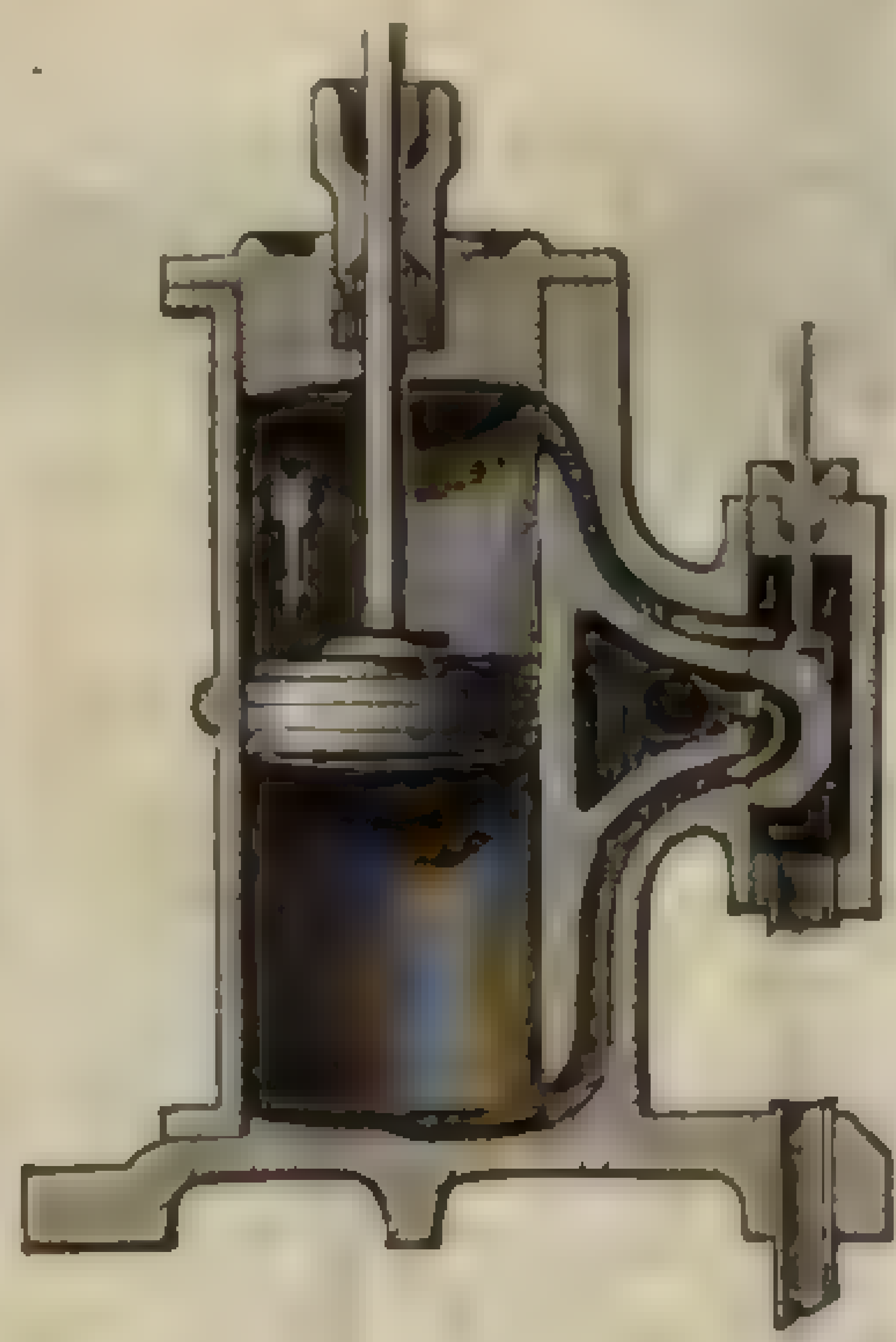


Fig. 485.



Nähert sich der Kolben mit abnehmender Geschwindigkeit dem oberen Ende des Cylinders, so geht der Schieber allmälig wieder nieder, um alle Oeffnungen in dem Augenblicke zu schließen, in welchem der Kolben das oberste Ende seiner Bahn erreicht. Während darauf der Kolben wieder niedergeht, fährt auch die niedergehende Bewegung des Schiebers noch fort, bis der Kolben wieder in der Mitte des Cylinders angekommen ist, wo dann die obere Oeffnung ganz frei ist, Fig. 485, und der Dampf aus der unteren Hälfte des Cylinders durch die Höhlung des Schiebers entweicht.

Die eben betrachtete Bewegung des Vertheilungsschiebers muß natürlich durch die Maschine selbst bewerkstelligt werden, und zwar geschieht dies durch die **excentrische Scheibe** *f*, die wir in Fig. 481 von der Seite sehen. Fig. 486, 487 und Fig. 488 (s. f. S.) zeigen dieselbe von vorn gesehen in drei Hauptstellungen.

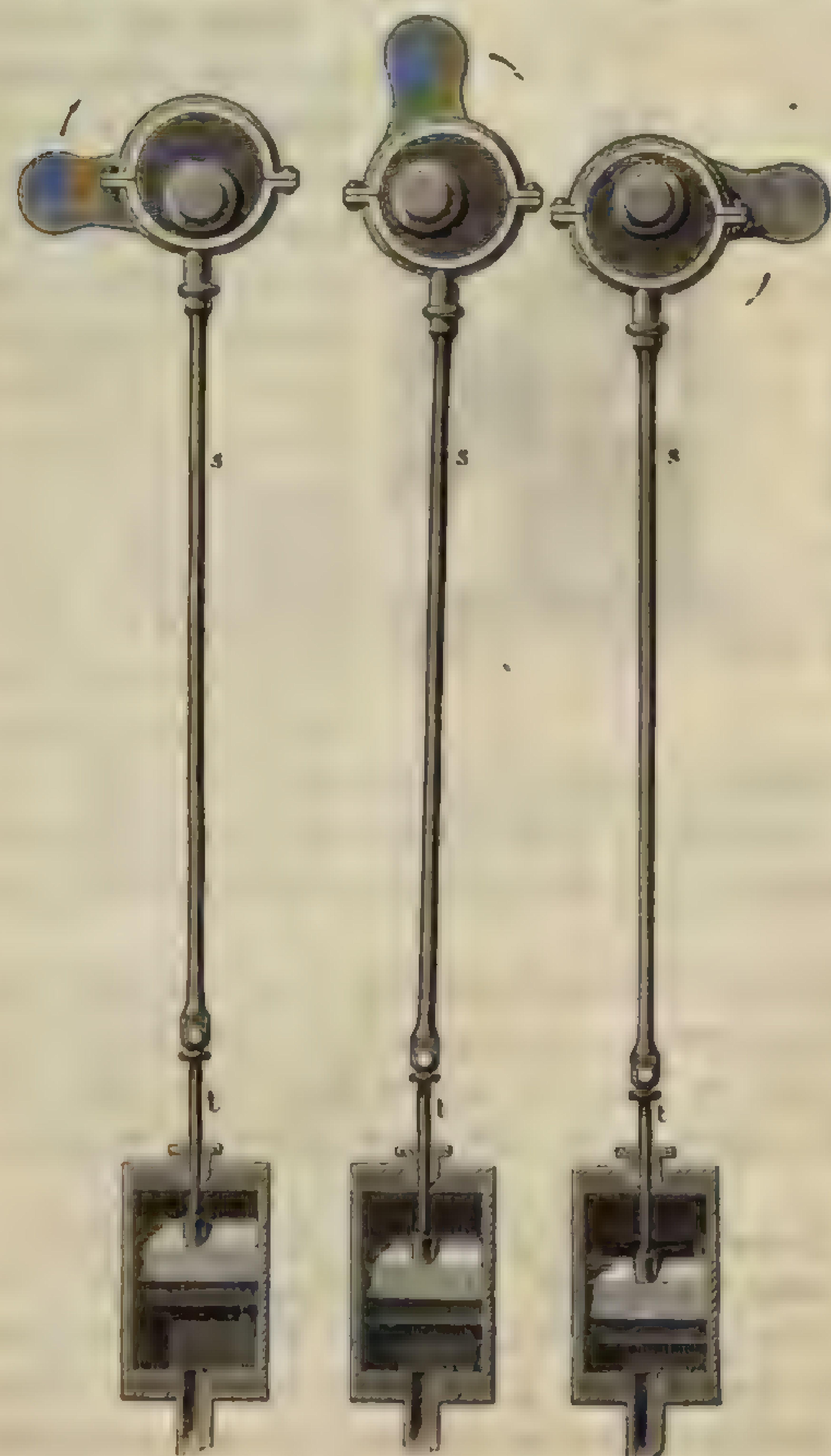
Die excentrische Scheibe ist eine kreisförmige Scheibe, die an der Hauptaxe der Maschine befestigt ist, deren Mittelpunkt aber nicht mit dem Mittelpunkt der Axe zusammenfällt, so daß bei jeder Umdrehung der Axe der Mittelpunkt der excentrischen Scheibe einen kleinen Kreis zu beschreiben hat, dessen Durchmesser der Bahn gleich ist, welche der Schieber bei seiner auf- und niedergehenden Bewegung zurücklegt.

Um den Umfang dieser Scheibe ist ein Ring gelegt, an welchem die Stange *s* befestigt ist; an der Stange *s* hängt nun wieder mittelst eines Gelenkes die Schieberstange *t*, und so ist klar, wie der Schieber aufwärts gezogen wird, während der Mittelpunkt der excentrischen Scheibe durch die Umdrehung der Axe aus seiner tiefsten in seine höchste Stellung gelangt, und daß umgekehrt der Schieber niedergedrückt wird, während der Mittelpunkt der excentrischen Scheibe auf der anderen Hälfte seiner Bahn niedergeht.

Da der Dampf unten voll einströmen muß, wenn der Kolben in aufgehender Bewegung die Mitte des Cylinders passirt, so muß der Mittelpunkt der excentrischen Scheibe seinen höchsten Punkt einnehmen, wenn der Kurbelarm eben wagerecht steht, Fig. 486. Gelangt der Kurbelarm in seine höchste Stellung, so daß er vertical nach oben gerichtet ist, so steht jetzt der Mittelpunkt

der excentrischen Scheibe in gleicher Höhe mit dem Mittelpunkt der Axe, der Schieber befindet sich gerade in der Mitte seiner Bahn und verschließt alle Oeffnungen, Fig. 487. Wenn der Kolben, nach unten gehend, die Mitte des Cylinders passirt, so steht die Kurbel wieder wagerecht und die excentrische Scheibe nimmt ihre tiefste Stellung ein, damit der Dampf frei durch die obere Oeffnung einströmen könne, Fig. 488.

Fig. 486. Fig. 487. Fig. 488.



Um die Maschine im Gange zu erhalten, muß im Kessel fortwährend Wasser verdampft werden; es ist also klar, daß in gleichem Maaße dem Kessel wieder frisches Wasser zugeführt werden muß, wenn der Gang der Maschine keine Störungen erleiden soll. Dies geschieht nun durch die Druckpumpe *o*, Fig. 481, deren Kolben durch die excentrische Scheibe *g* bewegt wird. Die innere Einrichtung einer solchen Druckpumpe *o* haben wir bereits oben I. Bd. S. 170 kennen gelernt.

Wenn die zu verrichtende Arbeit, der zu überwindende Widerstand im Allgemeinen ab- oder zunimmt, so ist die Folge davon, daß der Gang der Maschine schneller oder langsamer wird. Momentane, kurz dauernde Störungen der Art werden schon durch das Schwungrad ausgeglichen; eine allgemeine Verminderung des Widerstandes und der Last aber würde bei unverändertem Zuflusse des Dampfes eine immer zunehmende Beschleunigung des Ganges der Maschine zur Folge haben. Damit nun die Geschwindigkeit nicht über eine gewisse Gränze wachsen kann, muß im Dampfzuflußrohre eine Klappe angebracht seyn, durch deren Drehung dem Dampfe der Weg mehr oder weniger versperrt wird, je nachdem die Klappe mehr und mehr aus der verticalen

Lage (der vollkommenen Oeffnung) in die horizontale (den vollkommenen Verschluß) übergeht. Die Drehung dieser Klappe muß aber durch die Maschine selbst besorgt werden, und dies geschieht durch eine Vorrichtung, welche den Namen **Regulator** führt.

Die Bewegung der Hauptaxe wird durch Winkelräder auf eine verticale Axe *a*, übertragen, welche das **conische Pendel** *V* Fig. 481 und 482 trägt; es besteht dies aus zwei schweren Kugeln, die an das obere Ende der Stange *a* so angehängt sind, daß sie vermöge ihre Centrifugalkraft auseinanderfahren, wenn die Axe *a* rasch umgedreht wird; sobald dies aber geschieht, wird die Hülse *h* gehoben und dadurch die Stange *b* in die Höhe gezogen (in Fig. 481 ist dieselbe nur durch eine Linie angedeutet), dadurch aber wird das Drosselventil *n* um seine Axe gedreht und also der Zufluß des Dampfes um so mehr gehemmt, je rascher die Maschine läuft.

Eine der bekanntesten und interessantesten Hochdruckmaschinen ist die **Locomotive**, wie sie auf unseren Eisenbahnen gebraucht wird. Eine solche Locomotive ist Fig. 489 (s. f. S.) dargestellt. *A* ist der Feuerraum. Das Brennmaterial wird durch die Oeffnung *a*, die durch eine Thür geschlossen werden kann, auf den Rost geworfen. Von dem Feuerraume *A* ist aber für die erhitzte Luft kein Ausweg als durch eine Reihe horizontaler Röhren, welche von *A* nach *D* führen; von *D* geht die erhitzte Luft mit dem Rauche durch den Schornstein in die Höhe. In Fig. 490 sieht man, wie die Röhren neben und über einander liegen. Diese Röhren gehen nun mitten durch den mit Wasser angefüllten Kessel; außerdem ist der Feuerraum selbst von allen Seiten mit Wasser umgeben. Durch die außerordentlich große Feuerfläche, mit welcher auf diese Weise das Wasser in Berührung ist, bildet sich fortwährend eine bedeutende Dampfmenge. Die Dämpfe sammeln sich über dem Wasser in dem mit *B* und *C* bezeichneten Raume; von *C* werden sie durch die Röhre *c* dem Cylinder zugeführt. Läge die Mündung der Röhre *c* tief, so würde durch das heftige Kochen viel Wasser mechanisch in die Röhre *c* und von da in die Cylinder mit fortgerissen werden. Um dies zu verhindern, ist der Dampfraum bei *C* erhöht. Die Röhre *c* theilt sich bald in zwei andere, *d* und *d'*, wie man dies in Fig. 490 sieht. In Fig. 489 ist nur eine dieser Röhren, nämlich *d*, sichtbar. Jede führt zu einem Behälter *i*, aus welchem der Dampf in die Cylinder *F* tritt. Auf jeder Seite des Wagens liegt ein Cylinder, wie man Fig. 490 sieht; von diesen Cylindern ist in Fig. 491 nur der eine, nämlich der vordere, sichtbar. Er ist hier im Längendurchschnitte dargestellt, die Durchschnittsfläche aber fällt nicht mit der der ganzen übrigen Figur zusammen, sondern liegt vor derselben. Die Cylinder liegen horizontal, und der Kolben sammt den Kolbenstangen gehen in einer horizontalen Richtung hin und her. Von dem Behälter *i*, in welches der Dampf durch die Röhren *c* und *d* geleitet wird, gehen zwei Canäle zu dem einen und dem anderen Ende des Cylinders, wie bei der Hochdruckmaschine, die wir auf Seite 522 betrachtet haben, und hier geschieht auch die Vertheilung des Dampfes ganz auf dieselbe Weise durch den Vertheilungsschieber. Der verbrauchte Dampf ge-

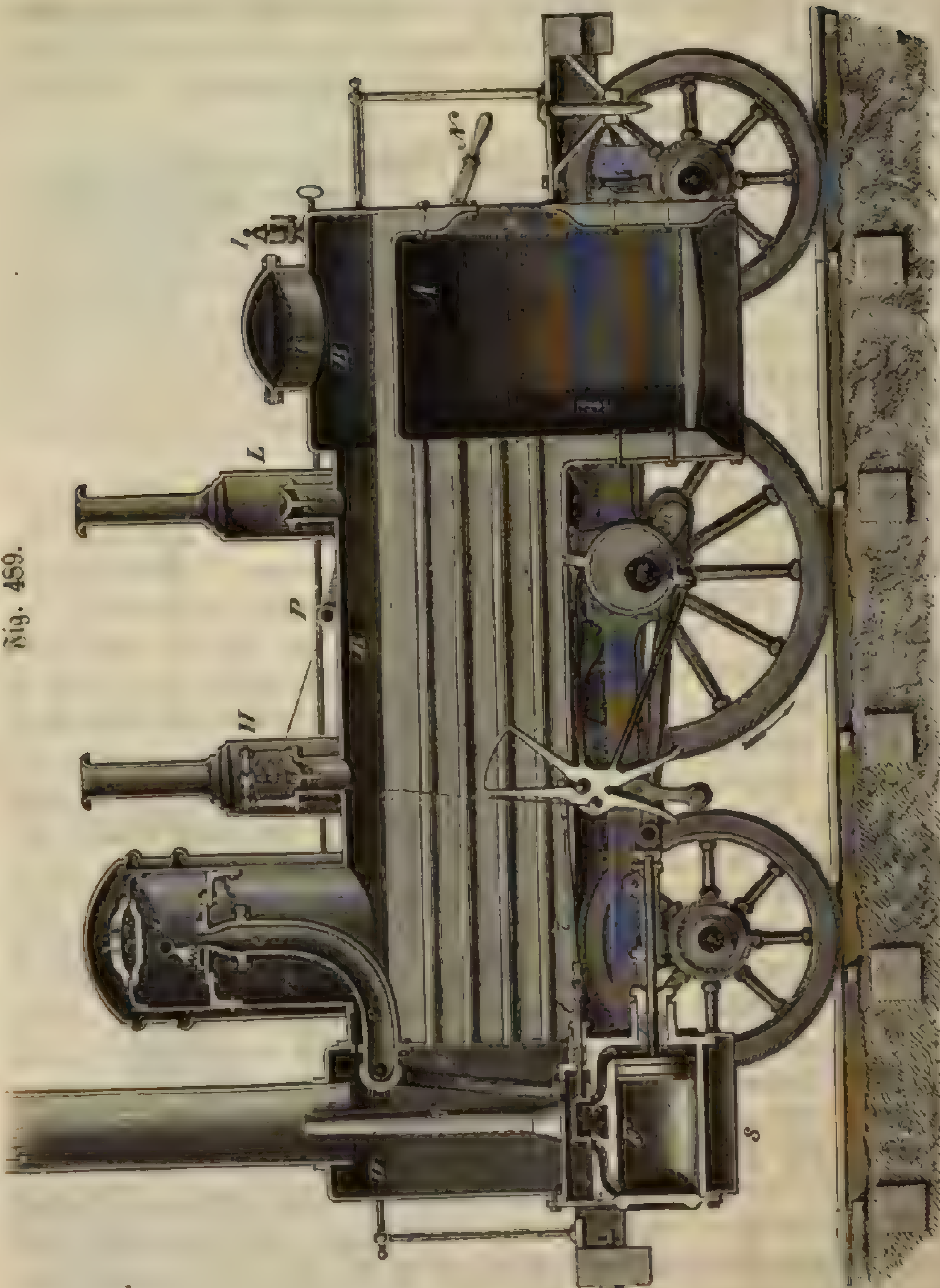


Fig. 489.



Fig. 490.

langt durch die Höhlung des Schiebers in den Schornstein, aus welchem er entweicht.

Die Kolbenstange ist durch sogenannte Coulissen festgehalten, d. h. sie ist durch dieselben verhindert, von ihrer Bahn abzuweichen, so daß sie nur in einer und derselben geraden Linie hin= und hergehen kann. An der Kolbenstange ist unmittelbar die Treibstange befestigt, welche die Kurbel *n* um die Axe *m* umdreht. An der Axe *m* sind aber auch die mittleren Räder des Wagens befestigt, so daß also durch jeden Hin= und Hergang des Kolbens eine ganze Umdrehung des Rades erfolgt; bei jedem Hin= und Hergange des Kolbens geht also der Wagen um eine Strecke weiter, welche dem Umfange der mittleren Räder gleich ist.

An der Axe *m* ist auch die excentrische Scheibe befestigt, durch welche der Schieber im Behälter *i* bewegt wird. Wie wir in unserer Figur sehen, greift das ungefähr X förmige Ende des am Ringe der excentrischen Scheibe befestigten Gestänges am oberen Ende eines Hebels ein, dessen Stützpunkt bei *s* ist. Durch die Bewegung dieses Hebels werden aber auch die daran befestigten Stangen *t* und durch diese der Schieber hin und her gezogen.

Durch Aufziehen des Hebels *N* wird das X niedergedrückt und dadurch eine rückgängige Bewegung der Locomotive bewirkt; doch können wir hier nicht weiter ins Einzelne eingehen. *H* und *L* sind Sicherheitsventile, *l* ist ein Pfeifchen, welches zu Signalen dient.

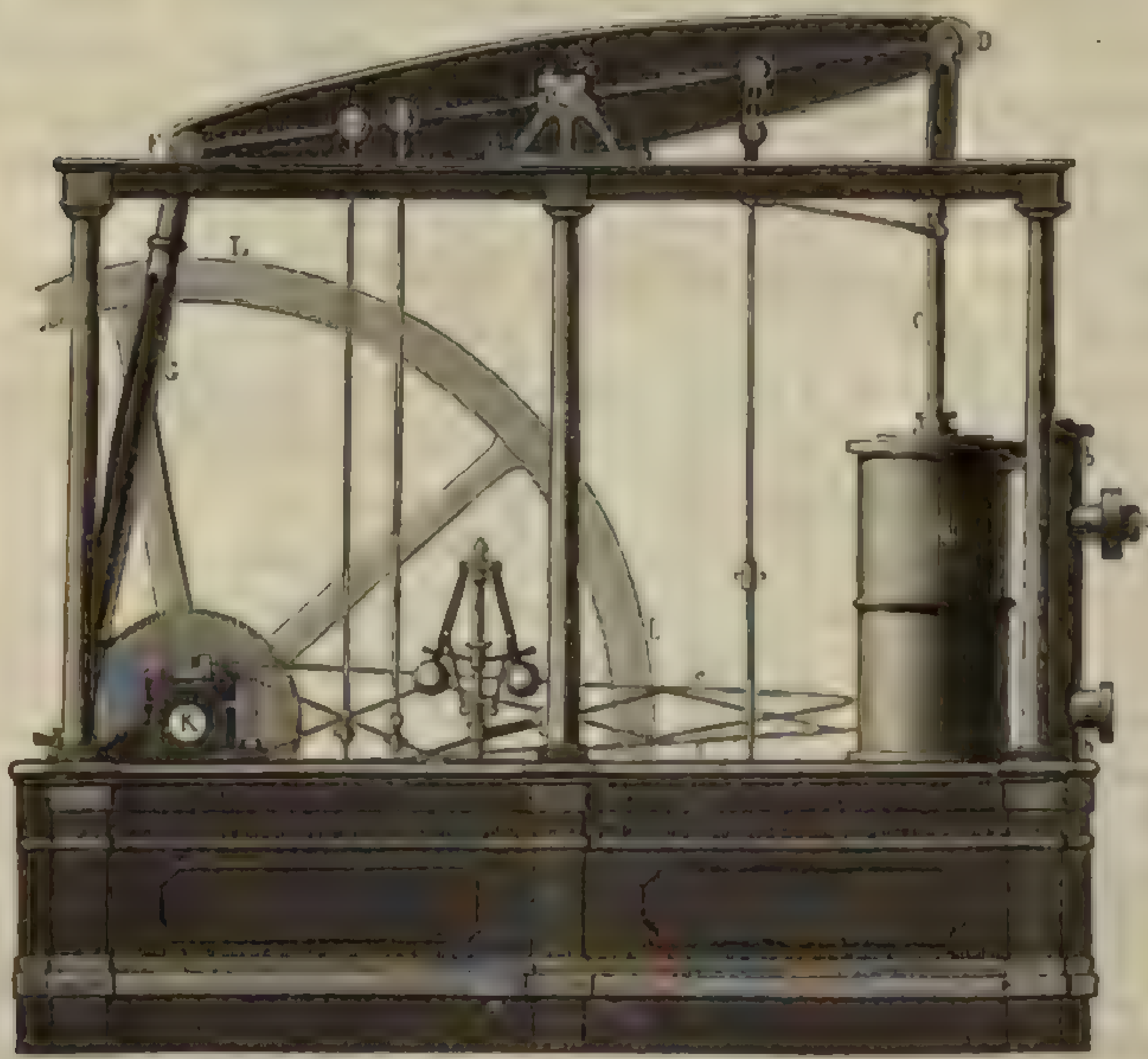
Niederdruckmaschinen. Bei den eben besprochenen Maschinen ist die 173
eine Seite des Cylinders mit der atmosphärischen Luft in Verbindung, so daß auf der einen Seite des Kolbens der Druck der Atmosphäre lastet, während auf der anderen Seite der Druck des Dampfes wirkt; es ist klar, daß hier der Dampfdruck ein bedeutender seyn muß, da ja ein Theil desselben noch zur Ueberwindung des Luftdrucks verwendet wird und nur der Rest der Bewegung zu gut kommt. Solche Maschinen heißen Hochdruckmaschinen, weil in ihnen Dampf von hoher Spannung in Anwendung kommt.

Soll nun aber die Maschine schon durch Dampf von geringer Spannkraft (von niederem Druck) getrieben werden, so muß man auf der anderen Seite des Kolbens nicht die atmosphärische Luft drücken lassen, sondern einen verdünnten Raum erzeugen, was dadurch geschieht, daß man die verbrauchten Dämpfe nicht in die freie Luft ausströmen läßt, sondern daß man sie zu einem Behälter hinleitet, in welchem sie durch Einspritzen von kaltem Wasser verdichtet werden. Dieser Verdichtungsraum heißt der Condensator, und Dampfmaschinen, welche, mit einem Condensator versehen, durch Dämpfe von geringer Spannkraft getrieben werden können, heißen Niederdruckmaschinen.

Watt's Maschinen waren Niederdruckmaschinen. Fig. 491 (s. f. S.) stellt eine Totalansicht, Fig. 492 (s. S. 531) stellt den Durchschnitt des unteren Theils der Maschine dar. Der Vertheilungsschieber hat hier eine etwas andere Einrichtung als der früher betrachtete. Der verbrauchte Dampf strömt durch den Canal *d* nach dem Condensator *e*, in welchem die Verdichtung der Dämpfe durch fortwährend eingespritztes Wasser bewirkt wird. Das durch Einspritzen und

durch Verdichtung der Dämpfe im Condensator sich sammelnde Wasser wird durch eine besondere Pumpe fortgeschafft, welche die Condensatorpumpe oder auch die Luftpumpe heißt, weil sie außer dem Wasser auch die Luft fortschafft, welche sich im Kessel beim Kochen des Wassers entbindet und mit den Dämpfen durch die Maschine läuft.

Fig. 491.



Bei der Watt'schen Maschine wird die Bewegung der Kolbenstange zunächst auf einen zweiarmigen Hebel, den Balancier *DF* Fig. 491, übertragen, an dessen anderem Ende die Pleuelstange *G* befestigt ist, welche die Umdrehung der Kurbel bewirkt.

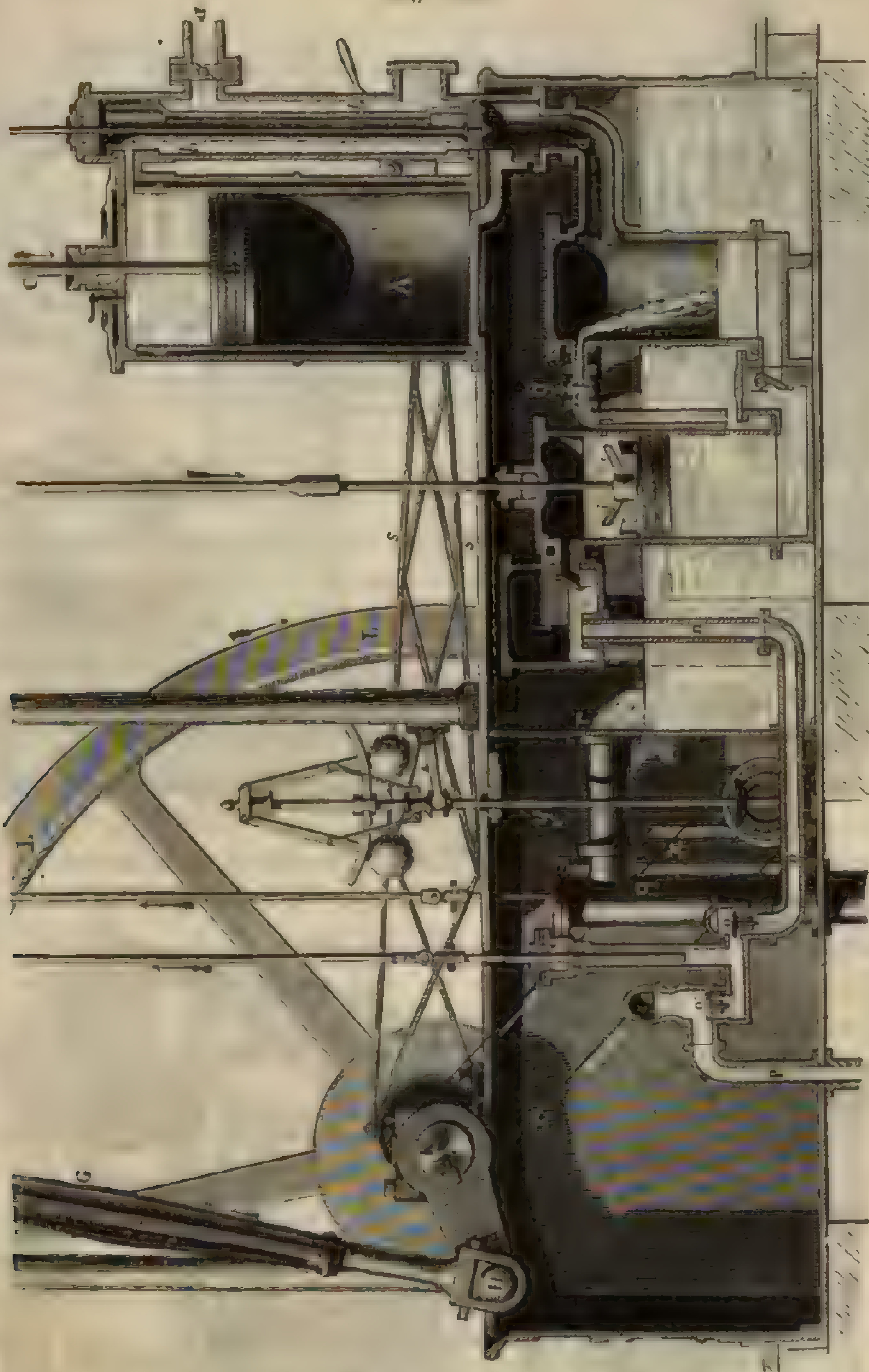
Auch hier geschieht die Führung des Schiebers durch eine excentrische Scheibe und der Regulator dieser Maschine wirkt ganz in ähnlicher Weise, wie bei der Hochdruckmaschine.

Durch die Druckpumpe *m* wird das durch die Röhre *n* aus dem Condensator kommende warme Wasser durch die Röhre *s* weiter zum Kessel gebracht; durch die Pumpe *g* wird fortwährend Wasser in den Raum geschafft, in welchem der Condensator steht. Die Stangen beider Pumpen sind an Balanciers angehängt, sie werden also geführt wie die Luftpumpe.

Die Schiffsdampfmaschine ist meist eine Niederdruckmaschine von etwas anderer Einrichtung. In den nächsten drei Figuren (s. S. 532 u. 533) ist eine der gewöhnlichsten Formen der Schiffsdampfmaschine im Durchschnitt, im Grundriß und von der Seite gesehen, dargestellt. Durch die Oeffnung *R* tritt der aus dem Kessel kommende Dampf ein. *A* ist der Cylinder, *I* der Condensator, welcher hier in einem flachen, mit kaltem Wasser gefüllten Raume besteht, *K* ist die

Condensatorpumpe, welche das Wasser aus dem Condensator in den Raum *N* schafft.

Fig. 492.



Was den äußeren Bau dieser Maschine betrifft, so ist eine Abweichung von der gewöhnlichen Niederdruckmaschine dadurch bedingt, daß die Hauptaxe, welche in Bewegung gesetzt werden soll, die Axe der Schaufelräder ist, die nur mit ihrem unteren Ende in das Wasser eintauchen dürfen; die Axe dieser Räder muß sich deshalb in einer namhaften Höhe über dem Wasserspiegel befinden. Wollte man aber den Balancier und die Treibstange so anbringen,

wie bei der gewöhnlichen Watt'schen Maschine, so käme diese Axe zu tief

Fig. 493.

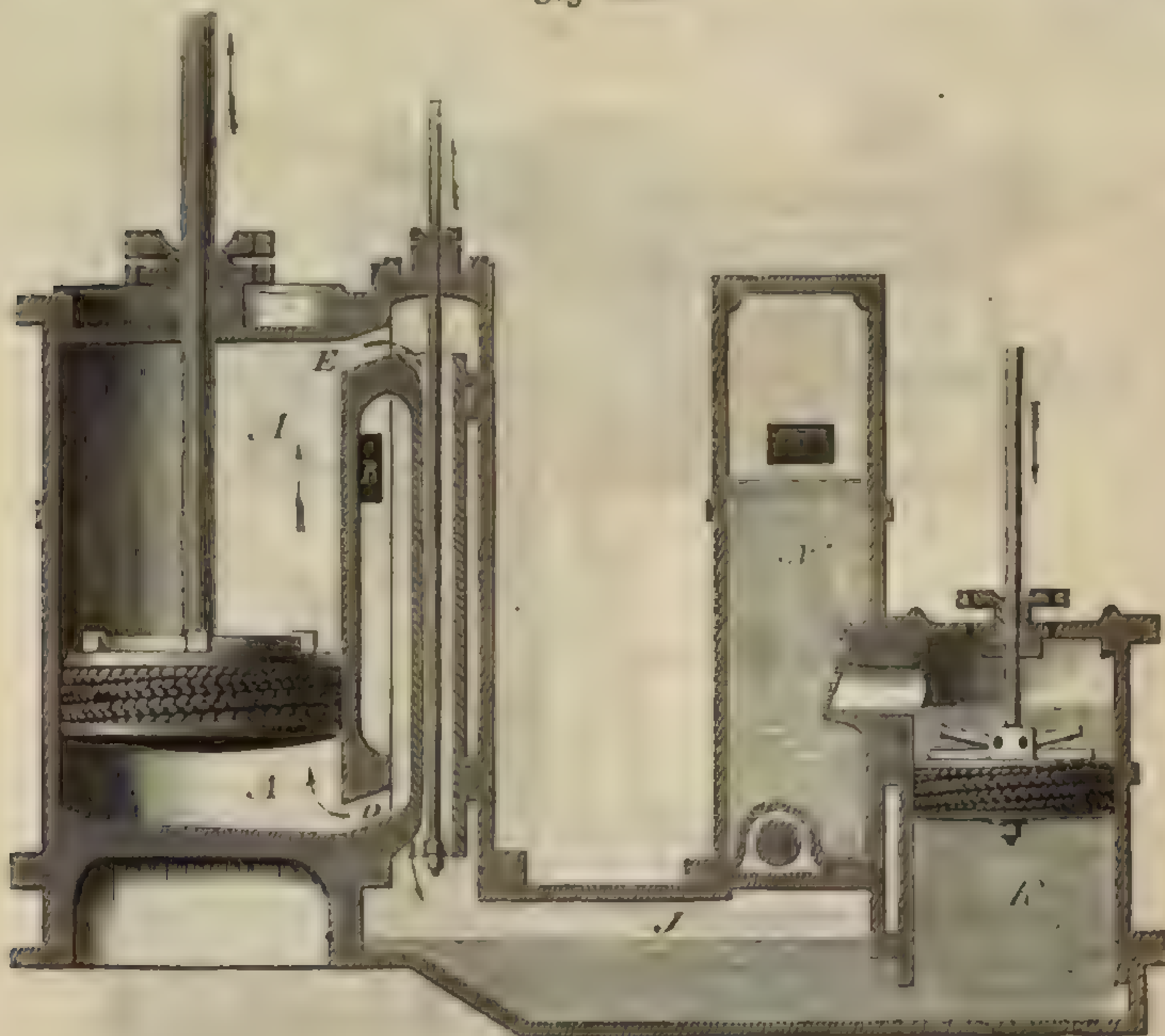
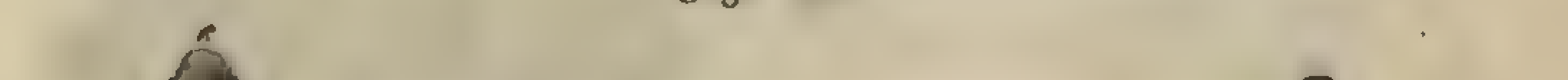


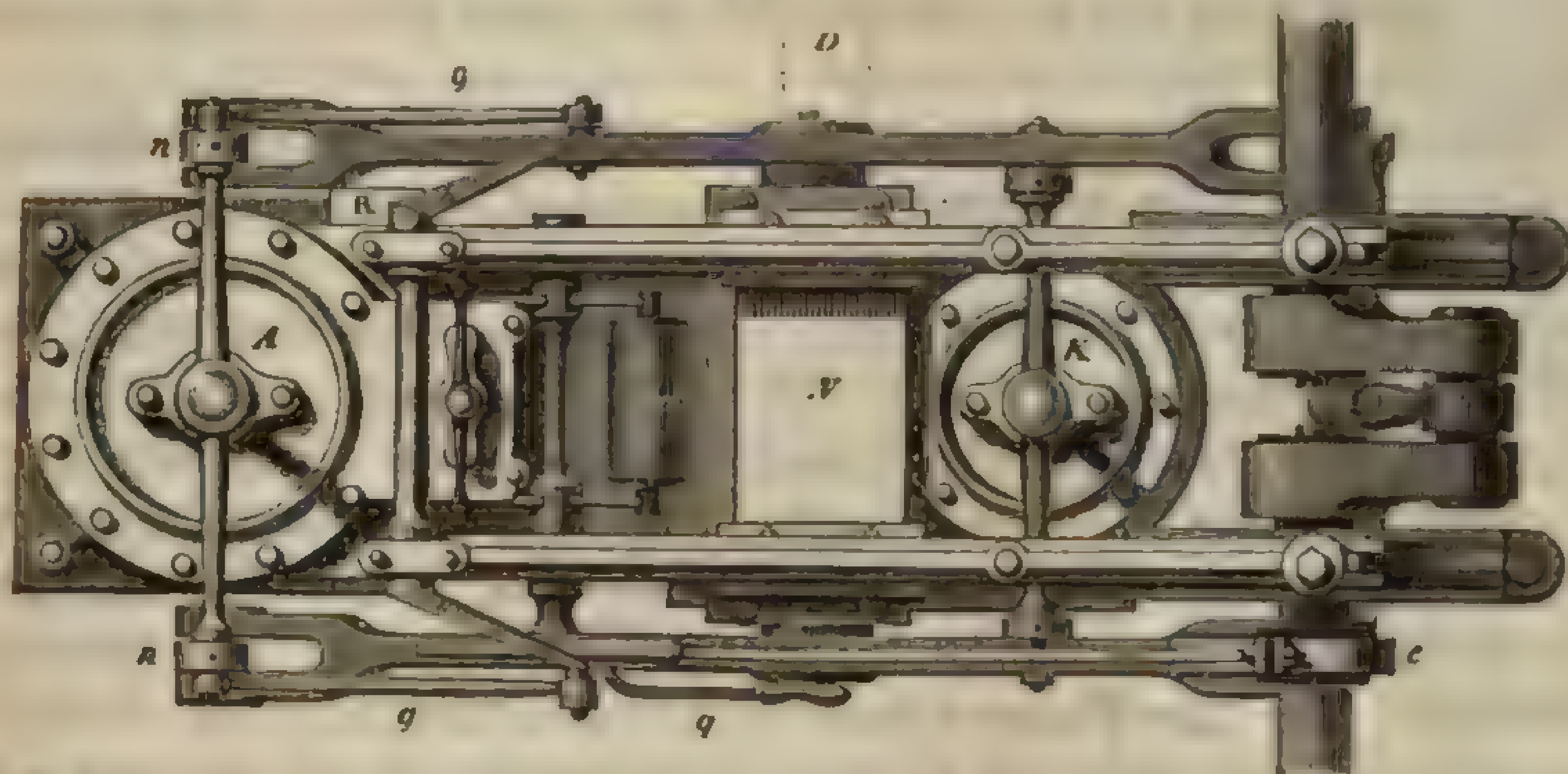
Fig. 494.



zu liegen. Deshalb ist hier der Balancier unten angebracht und die Treibstange *P* nach oben gerichtet. Das obere Ende der Kolbenstange ist an einem

horizontalen Querstabe befestigt. Diese Querstange ist im Grundrisse Fig. 495

Fig. 495.



ihrer ganzen Länge nach zu sehen. Von den beiden Enden dieser Querstange geht auf jeder Seite des Cylinders eine Stange nieder. Im Grundrisse sind nur die oberen Enden der Stangen *n* sichtbar, im Aufrisse aber sieht man nur die vordere derselben. Die Stangen *g* und *h* dienen nur dazu, um die verticale Bewegung der Kolbenstange zu sichern.

Der Balancier *B* ist unten angebracht, und zwar befindet sich auf jeder Seite der Maschine ein solcher Balancier, wie man im Grundrisse sieht. Die beiden Balanciers drehen sich beide um dieselbe Axe, welche durch die Maschine hindurchgehend auch im Durchschnitte Fig. 493 sichtbar ist. An jeder Seite hat der Balancier ein gabelförmiges Ende, in welchem auf der linken Seite die Stangen *n* befestigt sind, so daß das Auf- und Niedergehen der Stange *n* das linke Ende des Balanciers ebenfalls abwechselnd auf- und niederzieht.

Die Enden auf der rechten Seite der beiden Balanciers sind durch einen starken Querbügel verbunden, in dessen Mitte die nach oben gerichtete Treibstange *P* befestigt ist, deren Eingreifen in die Kurbel namentlich aus dem Grundrisse deutlich zu ersehen ist. Die Axe *a*, welche durch die Kurbel umgedreht wird, ist die Axe der Schaufelräder.

An der Axe *a* ist, wie man im Aufrisse sieht, die excentrische Scheibe befestigt, welche das Auf- und Niedergehen des Schieberventils ganz in der Weise bewirkt, wie es bei der Watt'schen Maschine geschieht.

In der Regel stehen auf Schiffen zwei solcher Maschinen neben einander, welche an derselben Axe arbeiten; ihr Gang ist aber so regulirt, daß in der einen der Kolben die Mitte des Cylinders passirt, während der Kolben in der anderen oben oder unten ankommt, daß also die Kurbel der einen Maschine eine verticale Stellung hat, während die Kurbel der anderen wagerecht steht. Der Grund davon ist leicht einzusehen.

Man hat auch Schiffsdampfmaschinen ohne Balancier gebaut. Bei diesen steht der Cylinder nicht aufrecht, sondern schräg, so daß seine Axe mit der Horizontalen einen Winkel von 20 bis 25 Grad macht. Denkt man sich

die Axe des Cylinders dieser Maschinen verlängert, so trifft diese Verlängerung die Umdrehungsaxe der Schaufelräder. Die Treibstange verbindet unmittelbar die Kolbenstange mit der Kurbel, wie dies auch bei der Locomotive der Fall ist, die wir schon kennen lernten.

Schon Savary machte den Vorschlag, mittelst des durch seine Maschine gehobenen Wassers ein Wasserrad in Bewegung zu setzen, welches wieder die Schaufelräder eines Schiffes umdrehen sollte. Jonathan Hull wollte durch eine Newkomen'sche Maschine ein Schiff in Bewegung setzen; sein Project, von dem jedoch auch nicht viel Erfolg zu erwarten war, kam nicht zur Ausführung. Als Watt die Dampfmaschine vervollkommnet hatte, baute Perrier im Jahre 1775 ein Dampfschiff, dessen Maschine nur eine Pferdekraft hatte, und mit welchem er auf der Seine nur stromabwärts und zwar äußerst langsam fahren konnte. Der Gedanke wurde wieder aufgegeben. Glücklicher war der Marquis von Jouffroy, der 1781 zu Lyon ein großes Dampfschiff baute, um die Saone zu befahren. Seine Versuche würden höchst wahrscheinlich zu einem günstigen Resultate geführt haben, wäre er nicht durch die Revolution, welche ihn auszuwandern nöthigte, an seinem Unternehmen gehindert worden.

Mit besserem Erfolge wurde der Gedanke in Amerika verfolgt. Nachdem daselbst, sowie auch in England, mehrere erfolglose Versuche gemacht worden waren, war besonders Robert Livingston bemüht, diese Idee in großem Maaßstabe auszuführen. Sein erster Versuch fiel ungünstig aus. Im Jahr 1803 kam er als Gesandter der vereinigten Staaten nach Paris, wo er sich mit Robert Fulton, gleichfalls einem Nordamerikaner, verband. Fulton hatte schon früher der französischen Regierung die Erbauung eines Dampfschiffes vorgeschlagen und baute 1803 ein solches, mit welchem er die Seine hinabfuhr. Da man auf seine Vorschläge nicht einging, so kehrte er nach Amerika zurück. Im Jahre 1807 baute er ein großes Dampfschiff, »Clermont« genannt, welches durch eine Dampfmaschine von 20 Pferdekräften, die in der Fabrik von Bulton und Watt verfertigt war, getrieben wurde. In 32 Stunden legte dieses Schiff mit 160 Tonnen Ladung den 120 engl. Meilen weiten Weg von New-York nach Albany zurück. Seit diesem so gelungenen Versuche hat sich die Dampfschifffahrt immer mehr ausgebreitet und vervollkommnet.

174 **Berechnung des Effects der Dampfmaschinen.** Der Effect, welchen eine Dampfmaschine hervorzubringen im Stande ist, die Kraft der Maschine, hängt von der Wassermenge ab, die in einer gegebenen Zeit im Kessel in Dampf verwandelt wird; untersuchen wir deshalb, welche Wirkung 1 Liter Wasser in Dampfform hervorzubringen im Stande ist. — Nehmen wir an, die Kolbenfläche betrage 1 Quadratdecimeter, die Höhe des Cylinders (die Hubshöhe) aber sey 10 Decimeter, so ist der Inhalt des Cylinders 10 Kubikdecimeter oder 10 Liter; um also den Kolben von unten bis oben zu treiben, müssen 10 Liter Dampf aus dem Kessel in den Cylinder übergehen. Wenn nun der Dampf eine Spannkraft von einer Atmosphäre hat, so ist der Druck, den er auf jedes Quadratcentimeter der Kolbenfläche ausübt, ungefähr 1 Kilogramm, der

Gesammtdruck auf den ganzen Kolben beträgt demnach 100 Kilogramme; wenn also gar keine Bewegungshindernisse vorhanden wären, so könnte man den Kolben mit 100 Kilogrammen belasten, und diese 100 Kilogramme würden 10 Decimeter hoch gehoben, wenn man 10 Liter Wasserdampf von 100 Grad in den Cylinder führt. Der Effect also, den 10 Liter Wasserdampf von 100° hervorbringen können, ist der Hebung von 100 Kilogrammen auf eine Höhe von 10 Decimetern oder der Hebung von 1000 Kilogrammen auf eine Höhe von 1 Decimeter äquivalent. Ein Liter Wasser giebt aber 1700 Liter Wasserdampf von 100°; mit 1 Liter Wasser, in Dampf von 100° verwandelt, kann man also einen Effect hervorbringen, welcher der Hebung von 170000 Kilogrammen auf eine Höhe von 1 Decimeter äquivalent ist.

Um die Kraft der Maschine besser übersehen zu können, vergleicht man sie gewöhnlich mit Pferdekräften. Nimmt man an, daß ein Pferd in 1 Secunde eine Last von 750 Kilogrammen 1 Decimeter hoch heben könne (in der That ergiebt sich aus den besten Beobachtungen über die Arbeit der Pferde, daß sie bei zweckmäßigster Verwendung ihrer Kräfte bei andauernder Arbeit einen Effect hervorbringen, welcher dem erwähnten äquivalent ist), so würde man sagen, daß eine Maschine, in welcher in jeder Secunde so viel Dampf erzeugt wird, als nöthig ist, um 750 Kilogramme 1 Decimeter (oder 500 Pfund 1 Fuß) hoch zu heben, eine Dampfmaschine von 1 Pferdekraft sey.

Nun kann aber der Wasserdampf, welcher aus 1 Liter Wasser erhalten wird, 170000 Kilogramme 1 Decimeter hoch heben; wenn also im Kessel 1 Liter Wasser in $\frac{170000}{750}$, also in 226 Secunden verdampft wird, so ist der Totaleffect, den dieser Dampf in der Maschine hervorbringen kann, einer Pferdekraft gleich. Eine solche Maschine verzehrt also in einer Stunde ungefähr 15 Liter Wasser.

Pambour hat darauf aufmerksam gemacht, daß in der Berechnung der Kraft der Dampfmaschinen häufig dadurch Fehler gemacht werden, daß man den Druck des Dampfes gegen den Kolben der Maschine gleich demjenigen annimmt, welchen das Manometer des Kessels angiebt. Die Spannung des Dampfes im Kessel ist fast immer höher als im Cylinder.

Nicht alle mechanische Kraft des Dampfes kann aber als Nutzeffect angeschlagen werden. Sehr viel geht verloren, weil der Kolben nicht gegen einen leeren Raum drückt, weil die Reibung des Kolbens überwunden werden muß, weil mehrere Pumpen in Bewegung gesetzt werden müssen u. s. w. Alle diese Widerstände verringern den Nutzeffect der Maschine fast auf die Hälfte des oben berechneten.

Einen großen Vortheil hat man bei den Hochdruckmaschinen durch Anwendung der Expansion des Dampfes im Cylinder erlangt, welche dadurch hervorgebracht wird, daß der Zufluß des Dampfes aus dem Dampfkessel in den Cylinder abgesperrt wird, wenn der Kolben erst einen Theil seines Weges, etwa $1/2$, $2/3$ u. s. w. zurückgelegt hat. Daß durch Anwendung des Expan-

sionsprincips bei gleichem Dampfverbrauch ein größerer Effect hervorgebracht wird, läßt sich durch folgende einfache Betrachtung einsehen.

In einen Dampfcylinder ströme während des ganzen Kolbenhubs, wie dies bei gewöhnlichen Maschinen der Fall ist, Dampf ein, dessen Spannkraft wir zu 2 Atmosphären annehmen wollen, so ist am Ende des Kolbenhubs der ganze Cylinder mit Dampf von 2 Atmosphären Spannkraft gefüllt, und während dieses Kolbenhubs ist ein mechanischer Effect hervorgebracht worden, den wir mit E bezeichnen wollen.

Ließe man nun in denselben Cylinder Dampf von doppelter, also von 4 Atmosphären Spannkraft eintreten, so würde der Druck gegen den Kolben doppelt so groß seyn, und der mechanische Effect E würde schon hervorgebracht worden seyn, wenn der Kolben erst den halben Hub vollendet hat, wenn er in der Mitte des Cylinders angekommen ist. Wird nun in diesem Momente der fernere Zufluß des Dampfes in den Cylinder abgesperrt, so wird der Kolben die übrige Hälfte seines Weges fortsetzen, während der Druck, der ihn treibt, nach und nach bis zur Hälfte abnimmt, denn wenn er am Ende seiner Bahn ankommt, so ist die Spannkraft des Dampfes noch 2 Atmosphären.

Da schon während der ersten Hälfte des Kolbenhubs der mechanische Effect E hervorgebracht worden ist, so ist der ganze Effect, welchen der Dampf während der zweiten Hälfte des Kolbenhubs hervorbringt, während er sich also so ausdehnt, daß seine Spannkraft von 4 Atmosphären bis zu 2 Atmosphären abnimmt, als Gewinn zu betrachten; denn die Quantität des Dampfes, welche am Ende des Kolbenhubs den Cylinder erfüllt, ist gerade eben so groß, als ob während des ganzen Kolbenhubs Dampf von 2 Atmosphären Spannkraft angeströmt wäre.

Die verschiedenen Vorrichtungen, durch welche eine rechtzeitige Absperrung des Dampfes in den Expansionsmaschinen bewirkt wird, können wir hier nicht näher betrachten.

517 **Mischung der Dämpfe mit Gasen.** Flüssigkeiten, welche sich nicht chemisch mit einander verbinden, können wohl auf einige Augenblicke gemengt seyn; bald aber trennen sie sich, sie lagern sich nach der Ordnung ihrer Dichtigkeit über einander, wie z. B. das Oel auf dem Wasser schwimmt. Wenn sich die Gase und Dämpfe ähnlich verhielten, so würde sich auf unserer Erdoberfläche Alles ändern müssen; die Dämpfe z. B., welche sich auf der Oberfläche der Gewässer bilden, würden ihres geringeren specifischen Gewichtes wegen aufsteigen und so bis zu den äußersten Gränzen der Atmosphäre getrieben werden. Bei der immer fortdauernden Verdunstung würden zuletzt alle Seen und Meere austrocknen, und alles Wasser der Erde würde als Wasserdampf über der Atmosphäre schweben.

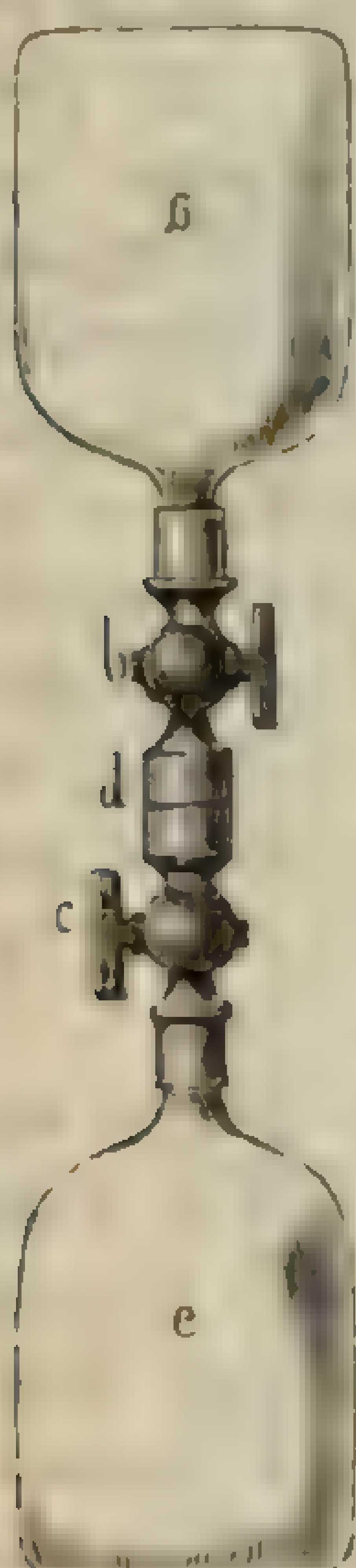
Man sieht also, daß die gasförmigen Körper bei ihrer Mischung nicht demselben Gesetze folgen können wie die Flüssigkeiten, daß sie sich nämlich nicht nach ihrem specifischen Gewichte schichten.

Diese Fundamentalwahrheit ist durch einen directen Versuch außer Zweifel gesetzt worden. Berthollet verband zwei Ballons, von denen der eine mit Wasserstoffgas, der andere mit Kohlensäuregas gefüllt war, durch eine Röhre,

die mittelst eines Hahns gesperrt werden konnte. Nachdem der Apparat so aufgestellt war, daß der mit dem leichteren Wasserstoffgas gefüllte Ballon über dem anderen stand, wurde der Hahn geöffnet. Nach einiger Zeit hatte sich die Hälfte des Wasserstoffgases trotz seiner Leichtigkeit in dem unteren Ballon verbreitet, während die Hälfte des Kohlensäuregases in den oberen Ballon hinaufgestiegen war.

Man kann den Versuch am einfachsten anstellen, wenn man zwei Glasgefäße, von denen das eine *a* mit Wasserstoffgas, das andere *e* mit Kohlensäure gefüllt ist, so verbindet, wie man Fig. 496 sieht. Nach einiger Zeit findet man die Gase auf die angegebene Weise gemischt. Jedes Gas verbreitet sich also gleichförmig in dem ganzen Raume gerade so, als ob das andere gar nicht da wäre.

Fig. 496.



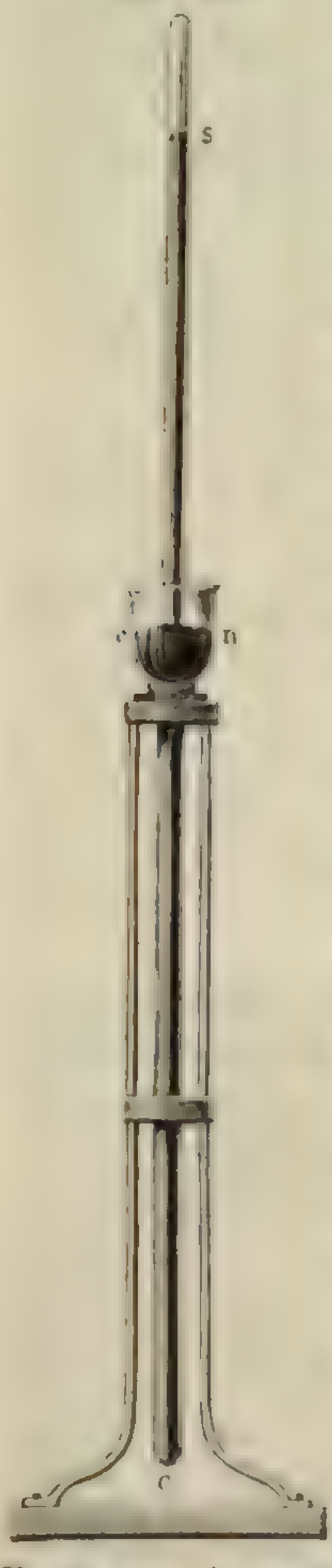
Was für die Mischung zweier Gase gilt, gilt auch für mehrere. Das allgemeine Princip, nach welchem die Mischung gasförmiger Körper vor sich geht, ist folgendes: *Wenn man in einen und denselben Raum verschiedene Gase bringt, welche keine chemische Wirkung auf einander ausüben, so verbreitet sich jedes gleichförmig durch den ganzen Raum; die Spannkraft des Gasgemenges aber ist gleich der Summe der Spannkräfte, welches jedes einzelne Gas haben würde, wenn es für sich allein den ganzen Raum ausfüllte.*

Dämpfe verhalten sich in dieser Beziehung vollkommen ebenso wie Gase; und wenn in einen mit Gas gefüllten Raum eine Flüssigkeit gebracht wird, so bilden sich in diesem Raume gerade ebenso viel Dämpfe, als ob der Raum vollkommen leer wäre; die Spannkraft ist also die Summe der Spannkraft des Gases und der Spannkraft des gesättigten Dampfes. Ein Beispiel mag dies deutlicher machen. Gesetzt, man brächte etwas Wasser in einen Raum von 1700 Kub.-Cent., der schon Luft von 100^0 und einer Tension von 760^{mm} enthält, so wird in diesem Raume 1 Gramm Wasser verdampfen, also gerade so viel, als ob der Raum vollkommen luftleer gewesen wäre. Die Spannkraft dieses Gemenges von Luft und Wasserdampf aber ist die Summe der Spannkraft der Luft, 760^{mm}, und der Spannkraft des gesättigten Wasserdampfes von 100^0, welche ebenso groß ist; sie ist also gleich dem Drucke von zwei Atmosphären.

Es läßt sich dies durch den Versuch auf folgende Art nachweisen. Man fülle eine *Toricelli*'sche Röhre, Fig. 497 (s. f. S.), bis auf ein kleines Stück mit Quecksilber, und tauche sie in das Quecksilber des Gefäßes *cn*. Gesetzt, man habe beim Füllen der Röhre 5^{cm} frei gelassen; nachdem man die Röhre umgekehrt und den Finger weggezogen hat, habe sich die Luft auf einen 5fachen Raum ausgedehnt, so daß die Luft im oberen Theile der Röhre eine Länge von 25^{cm} einnimmt, so wird ihre Tension $^1/_5$ des Barometerstandes, also 152^{mm} seyn, wenn der Barometerstand 760^{mm} ist; die Höhe der Quecksilbersäule im *Toricelli*'schen Rohre muß demnach noch eine Höhe von 608^{mm} haben. Nun bringe

man etwas Schwefeläther in den oberen Theil der Röhre, so sinkt die Quecksilbersäule noch tiefer. Durch Niederdrücken der ganzen Röhre kann man es nun leicht dahin bringen, daß der obere, nicht mit Quecksilber angefüllte Raum der Röhre wieder gerade so groß ist, als vor dem Eindringen des Aethers, daß er also für unseren Fall wieder 25^cm beträgt. Nun ist die Luft noch in demselben Raume verbreitet wie vorher, allein in diesem Raume befindet sich jetzt außer der Luft noch Aetherdampf, und zwar gerade soviel, als ob gar keine Luft da wäre. Die Spannkraft des Gemenges von Luft- und Aetherdampf muß also gleich seyn der Summe der Spannkraft der schon vorher vorhandenen Luft, für unseren Fall 152^mm, + der Spannkraft des gesättigten Aetherdampfes für die herrschende Temperatur. Diese Temperatur sey 15°. Die Tension des gesättigten Aetherdampfes für 15° ist 330^mm; die Summe der Spannkräfte der Luft und des Aetherdampfes ist also $152 + 330 = 482$^mm. Die Depression der Quecksilbersäule muß demnach 482^mm betragen, die Höhe der Quecksilberkuppe über dem Niveau in *cn* muß demnach noch $760 - 482 = 278$^mm seyn, was der Versuch auch vollkommen bestätigt.

Fig. 497.



Diese Art des Versuches ist jedoch nur für Luft von geringer Tension beweisend; daß sich aber auch in einem Raume, welcher mit Luft von atmosphärischer Dichtigkeit gefüllt ist, vollkommen ebenso viel Dampf bildet, als ob der Raum leer wäre, läßt sich mit dem Apparate Fig. 498 zeigen. *t* ist eine weite graduirte Glasröhre, welche mit ihrem offenen Ende in eine eiserne, mit einem eisernen Hahn *r* versehene Fassung eingekittet ist. An die Röhre *t* ist seitlich eine engere, gleichfalls graduirte Glasröhre *s* angelöthet, wie man in der Figur sieht. Nachdem der ganze Apparat mit Quecksilber gefüllt worden ist, wird der Hahn *r* geöffnet. In dem Maaße nun, in welchem hier Quecksilber ausläuft, sinkt das Niveau desselben in der Röhre *s* allmälig bis *v*, und von dem Augenblicke an werden bei fortdauerndem Ausfließen des Quecksilbers durch *r* Luftblasen in die Röhre *t* eindringen.

Auf diese Weise wird die Röhre *t* ungefähr zur Hälfte mit Luft gefüllt; damit aber diese, durch die Röhre *s* eindringende Luft vollkommen trocken sey, muß man am oberen Ende von *s* ein Chlorcalciumrohr befestigen, so daß alle in den Apparat eintretende Luft erst durch dieses hindurchstreichen muß.

Nachdem so der obere Theil von *t* mit trockener Luft gefüllt ist, wird *r* geschlossen und in *s* so viel Quecksilber nachgefüllt, daß es in beiden Röhren

gleich hoch steht, daß also die in l eingeschlossene Luft gerade unter dem Drucke der Atmosphäre steht.

Fig. 498.



Nachdem man sich nun den Theilstrich gemerkt hat, bis zu welchem das Quecksilber gerade in l steht (wir wollen ihn mit n bezeichnen), bringt man einige Tropfen Wasser in die Röhre s und öffnet den Hahn r so lange, bis etwas von diesem Wasser in das Rohr l eingedrungen ist.

Füllt man nun in s Quecksilber nach, bis es in l den Theilstrich n wieder erreicht hat, so steht jetzt das Quecksilber nicht mehr gleich hoch in beiden Röhren, sondern höher in s, weil die Spannkraft der Luft in l nun noch durch die Spannkraft des in demselben Raume verbreiteten Wasserdampfes vermehrt ist.

In dem lufterfüllten Raume verbreiten sich die Wasserdämpfe freilich langsamer als im luftleeren, deshalb wird eine etwas längere Zeit vergehen, bis die Wasserdämpfe in l das der gerade herrschenden Temperatur entsprechende Maximum der Spannkraft erreicht haben. Ist aber einmal die Luft in l mit Wasserdampf gesättigt, so wird jetzt das Quecksilber in s um so viel Millimeter höher stehen, als es die Spannkraft des gesättigten Wasserdampfes bei der Temperatur der umgebenden Luft erfordert.

Abhängigkeit des Siedepunktes vom Drucke. 176
Die Verwandlung der Flüssigkeiten in gasförmige Körper nennt man im Allgemeinen Verdampfung. Die Flüssigkeiten verdampfen entweder durch das Kochen, wenn sich durch die ganze Masse der Flüssigkeit Dämpfe bilden, oder durch Verdunsten, wenn die Dampfbildung bloß an der Oberfläche vor sich geht.

Wenn man das Kochen einer Flüssigkeit beobachtet, sieht man in der Regel nur eine mehr oder minder heftige Bewegung aller Theilchen, wenn man aber die Flüssigkeit in einem gläsernen Gefäße kochen läßt, so sieht man die Dampfblasen, welche sich an den wärmeren Gefäßwänden bilden und in die Höhe steigen. Anfangs klein, nehmen sie an Volumen zu, je mehr sie steigen. An den heißesten Stellen der Wand folgen die Blasen am schnellsten auf einander. Damit sich die Blasen in der Flüssigkeit bilden können, welche doch von allen Seiten einen Druck auf sie ausübt, muß der Dampf, welcher die Blasen ausfüllt, offenbar eine Spannkraft haben, welche dem Drucke der Umgebung das Gleichgewicht hält. Die erste Bedingung des Kochens ist also, daß die Temperatur so hoch sey, daß die Spannkraft der Dämpfe den von allen Seiten auf die zu bildenden Dampfblasen wirkenden Druck aushalten kann. Eine zweite Bedingung ist die, daß genug Wärme vorhanden sey, welche bei der Dampfbildung als latente Wärme absorbirt wird.

Aus der ersten Bedingung folgt, daß der Siedepunkt einer Flüssigkeit mit dem auf ihr lastenden Drucke wechselt, aus der zweiten aber, daß die Schnelligkeit des Kochens von der Wärmemenge abhängt, welche in einer gegebenen Zeit durch die Wände hindurch der Flüssigkeit zugeführt wird.

Am Spiegel des Meeres und unter dem mittleren Drucke von 760^{mm} kocht das reine Wasser bei 100°; auf dem Gipfel des Montblanc, in einer Höhe von 4772 Metern, wo der Druck der Atmosphäre nur noch 417^{mm} beträgt, kocht das Wasser schon bei einer Temperatur, bei welcher die Spannkraft des Wasserdampfes 417^{mm} beträgt, d. h. ungefähr bei 84°. In noch größerer Höhe würde das Wasser bei noch niedriger Temperatur sieden. Wenn man die Tafel für die Spannkraft der Dämpfe einer Flüssigkeit hat, so kann man leicht die Temperatur des Siedepunktes bei gegebenem Drucke finden, denn es ist derjenige Temperaturgrad, für welchen die Spannkraft des gesättigten Dampfes jenem Drucke gleich ist. Umgekehrt kann man eine Flüssigkeit bei einer gegebenen Temperatur in's Kochen bringen, wenn man nur den Druck hinlänglich vermindert.

Fig. 499.



Bei einem Drucke von 40^{mm} z. B. ist die Siedetemperatur des Wassers 35°, weil bei dieser Temperatur die Spannkraft des gesättigten Wasserdampfes 40^{mm} ist. Unter einem Drucke von 10^{mm} siedet das Wasser bei 11°, unter einem Drucke von 5^{mm} bei 0°.

Die Wahrheit dieser Folgerungen läßt sich leicht durch den Versuch nachweisen. Man bringt Wasser von ungefähr 50° in einem Glasgefäße unter den Recipienten der Luftpumpe. Nach einigen Kolbenzügen zeigt die Barometerprobe nur noch einen Druck von 89^{mm}, und nun beginnt das Kochen mit Heftigkeit gerade so, als ob das Wasser an freier Luft über einem lebhaften Feuer stände. Dieses Sieden hört aber bald auf, weil der Dampf den Recipienten erfüllt und selbst auf die Flüssigkeit drückt, ein neuer Kolbenzug aber nimmt diesen Dampf wieder weg und macht, daß das Kochen von Neuem beginnt. Mit unseren Luftpumpen ist es nicht möglich, das Wasser bei 0° in's Sieden zu bringen, weil man keine Verdünnung von 5^{mm} hervorbringen kann, indem sich beständig Dampf an der Oberfläche des Wassers bildet.

An dem Fig. 499 abgebildeten Apparate beobachtet man eine noch auffallendere, hierher gehörige Erscheinung. Ein Ballon *a* mit langem, zu einer Spitze ausgezogenen Halse wird über die Hälfte mit Wasser gefüllt; wenn durch Kochen desselben alle Luft ausgetrieben ist, wird die Spitze mit dem Löthrohre zugeschmolzen. Auf dem Wasser in diesem Apparate

lastet natürlich kein anderer Druck als der der eingeschlossenen Wasserdämpfe. Hat man nun das Wasser in diesem Apparate dadurch, daß man ihn eine Zeit lang in kochendes Wasser eintaucht, nahe auf 100° erwärmt, so wird, wenn man ihn umkehrt, wie die Figur zeigt, und aus einer Pipette kaltes Wasser darauf laufen läßt, augenblicklich ein lebhaftes Kochen eintreten. Es ist dies die Folge davon, daß durch die Abkühlung der Dampf im oberen Theile des Ballons verdichtet und dadurch der auf der Flüssigkeit lastende Druck vermindert wird.

Die Variationen des Siedepunktes hat man auch durch directe Versuche an hochgelegenen Orten der Alpen, der Pyrenäen und anderer Gebirge bestätigt.

Das kochende Wasser ist also nicht an allen Orten der Erde gleich warm, und folglich ist es nicht überall gleich tauglich zu häuslichen Zwecken, zur Bereitung der Speisen. In Quito z. B. kocht das Wasser schon bei 90°, und diese Temperatur ist zum Kochen mancher Substanzen zu niedrig, welche eine Temperatur von 100° erfordern.

Die folgende Tabelle enthält die Siedepunkte des Wassers für mehrere bewohnte Orte, deren Höhe wohl bekannt ist.

Namen der Orte.	Höhe über der Meeresfläche in Metern.	Mittlere Höhe d. Barometers in Millim.	Siedepunkte in Graden.
Meierei Antisana (Südamerika) . .	4101	454	86,3
Mincipampa (Peru)	3618	483	87,9
Quito	2908	527	90,1
Caramaria (Peru)	2860	531	90,3
Santa Fe de Bogoda	2661	544	90,9
Cuenza (Quito)	2633	546	91,0
Mexico	2270	572	92,3
Hospiz St. Gotthard	2075	586	92,9
Dorf St. Veran (See-Alpen) . .	2040	588	93,0
St. Remi	1604	621	94,5
Dorf Gavarni (Pyrenäen) . . .	1444	634	95,0
Barèges (Pyrenäen)	1269	648	95,6
Palast St. Ildefonso (Spanien) . .	1155	657	96,0
Bäder des Mont d'Or (Auvergne) .	1040	667	96,5
Madrid	608	704	97,8
Innspruck	566	708	98,0
München	538	710	98,1
Salzburg	452	718	98,4
Genf und Freiburg	372	725	98,6
Regensburg	362	726	98,7
Moskau	300	732	99,0
Turin	230	738	99,1
Prag	179	743	99,3
Lyon	162	745	99,4
Wien	133	747	99,5
Bologna	121	749	99,5
Dresden	90	752	99,6
Paris (Observatorium 1ster Stock) .	65	754	99,7
Rom (Capitol)	46	756	99,8
Berlin	40	756	99,8

Da der Barometerstand an einem und demselben Orte fortwährend schwankt, so folgt, daß der Siedepunkt in jedem Augenblicke variirt. Zu Paris sind die äußersten Gränzen des Barometerstandes, welche man in 20 Jahren beobachtet hat, 719^{mm} und 781^{mm}. Dem höchsten Stande von 781^{mm} entspricht ein Siedepunkt von 100,8^0, dem niedrigsten Barometerstande von 719^{mm} aber ein Siedepunkt von 98,5^0. Man begreift wohl, daß bei der Bestimmung des Siedepunktes an den Thermometerscalen der Barometerstand berücksichtigt werden muß.

Wollaston hat ein sehr empfindliches Thermometer construirt, welches nur die Temperaturgrade in der Nähe des Siedepunktes angiebt, mit Hülfe dessen man die Differenz der Siedepunkte des Wassers von einem Stockwerke eines Hauses zum anderen nachweisen kann. Die Construction eines solchen Thermometers erfordert viel Sorgfalt, wesentlich aber ist, daß ein Grad der Scala wenigstens eine Länge von 30^{mm} habe.

Wenn man den Druck auf die Flüssigkeit vermehrt, so wird dadurch das Kochen verzögert, und man kann es ganz verhindern, wenn man nur den Druck stark genug macht. Es läßt sich dies an jedem mit einem Sicherheitsventil versehenen Dampfkessel nachweisen, bei welchem dafür gesorgt ist, daß man die Temperatur der Dämpfe im Inneren messen kann, wie dies bei dem kleinen Dampfkessel Fig. 500 der Fall ist. In dem fest aufgeschraubten Deckel befinden sich drei Oeffnungen; auf der einen ist ein Sicherheitsventil von der bereits Bd. I. Seite 34 betrachteten Einrichtung angebracht; in die zweite Oeffnung ist ein in den Kessel hineinragendes Röhrchen *a* von Eisenblech aufgeschraubt, welches zum Theil mit Quecksilber gefüllt wird. Auf der dritten Oeffnung endlich sitzt ein kurzes Rohr, welches durch einen Hahn verschlossen werden kann, und auf welches man verschiedene Ausströmungsöffnungen aufschrauben kann.

Fig. 500.



Wird der bis zu $^2/_3$ seiner Höhe mit Wasser gefüllte Kessel genügend erhitzt, so kommt das Wasser nach einiger Zeit in's Kochen, wenn der Hahn geöffnet ist; ein in das Quecksilber des Rohres *a* eingetauchtes Thermometer zeigt constant die Temperatur des Siedepunktes. Sobald man aber den Hahn schließt, also das Abziehen der Dämpfe

hindert, steigt sogleich das Thermometer, und die Spannkraft der Dämpfe im Kessel wächst, bis sie endlich groß genug ist, um das Sicherheitsventil zu heben und hier einen Ausweg zu erzwingen.

Gesetzt, der Querschnitt der Ventilfläche betrage ein Quadratcentimeter, und an den Hebel sey ein Gewicht so angehängt, daß das Ventil durch ein Gewicht von 1 Kilogramm belastet ist, so wird der Dampf zum Ventil herausblasen (abblasen), wenn das Thermometer auf 121° C. gestiegen ist; denn bei dieser Temperatur ist die Spannkraft des Dampfes gleich dem Drucke von zwei Atmosphären, und dies ist der Druck, welcher, den Luftdruck selbst mitgerechnet, auf dem Ventil lastet.

Rückt man das Gewicht am Hebel weiter weg, so wird dadurch der Druck auf das Ventil vermehrt, die Spannkraft der Dämpfe muß also gesteigert werden, wenn das Ventil gehoben werden soll, und dies findet erst Statt, wenn die Temperatur in entsprechender Weise gestiegen ist.

Hier ist also das Kochen des Wassers offenbar verzögert, es findet erst bei einer Temperatur statt, welche mehr oder weniger hoch über dem gewöhnlichen Siedpunkte des Wassers liegt, wenn nämlich die Spannkraft der Dämpfe groß genug ist, um das Ventil zu heben und ein beständiges Abblasen durch dasselbe stattfindet.

Die ersten Versuche mit einem solchen kleinen Dampfkessel stellte in der Mitte des 17ten Jahrhunderts Papin, ein in Marburg lebender Gelehrter, an, nach welchem dergleichen Apparate auch mit dem Namen des Papinianischen Topfes oder des Papinianischen Digestors genannt werden. Papin benutzte seinen Digestor, theils um die mechanische Kraft des Wasserdampfes, theils um die auflösende Kraft des über 100° erwärmten Wassers zu zeigen. Mit Erstaunen sah man die Möglichkeit, aus den Knochen eine eben so nahrhafte Substanz auszuziehen, wie aus den saftigsten Muskeltheilen.

Wenn man in einem Gefäße Wasser in's Kochen bringt, aus welchem der Dampf nur durch verhältnißmäßig kleine Oeffnungen abziehen kann, so beobachtet man eine Erhöhung des Siedepunktes. Durch eine kleine Oeffnung kann nämlich nur dann aller Dampf, welcher durch die in jedem Moment in die Flüssigkeit übergehende Wärme erzeugt wird, ausströmen, wenn durch die größere Spannkraft des Dampfes eine größere Ausströmungsgeschwindigkeit möglich geworden ist.

In einer flüssigen Masse wirkt auf die Theilchen im Innern nicht allein der Druck, welcher auf der Oberfläche lastet, sondern auch noch das Gewicht einer Flüssigkeitssäule. Hätte man z. B. einen 32 Fuß tiefen, mit Wasser gefüllten Kessel, so würde am Boden ein Druck von 2 Atmosphären stattfinden, und hier würden sich also erst bei einer Temperatur von 121,4° Dampfblasen bilden können. Da aber die Temperatur der flüssigen Schichten an der Oberfläche nicht über 100° steigen kann, so wird die Flüssigkeit vom Boden, ihres geringeren specifischen Gewichtes wegen, fortwährend aufsteigen. Weil der Druck mit dem Steigen abnimmt, bilden sich Dampfblasen, ihre Temperatur nimmt aber allmälig von 121° bis 100° ab. Die Dampfblasen, welche sich in der Tiefe

bilden, nehmen an Größe um so mehr zu, je höher sie steigen, weil der Druck, welcher auf sie wirkt, immer geringer wird. Diese Erscheinungen beobachtet man selbst schon in kleinen Gefäßen, in welchen das Wasser nur einige Zoll tief ist. — Bevor das vollständige Kochen beginnt, bilden sich an dem Boden schon Dampfblasen, welche aber beim Aufsteigen sich plötzlich wieder verdichten, weil sie in Wasserschichten kommen, deren Temperatur noch zu niedrig ist. Daher rührt das eigenthümliche Geräusch, welches man einige Augenblicke vor dem vollständigen Kochen wahrnimmt. Wenn man den Versuch in einem Glaskolben anstellt, so beobachtet man, wie sich die Blasen am Boden bilden, wie sie steigen und alsbald verschwinden. Man sagt alsdann, das Wasser singt. Das Singen ist ein Zeichen des bald erfolgenden vollständigen Kochens.

177 **Einfluß aufgelöster Substanzen auf den Siedepunkt.** Der Siedepunkt der Flüssigkeiten erleidet durch Substanzen, welche nur mechanisch in demselben suspendirt sind, keine Veränderung; eine solche Veränderung tritt aber ein, wenn sich die Theilchen des fremden Körpers chemisch mit der Flüssigkeit verbinden. Alle löslichen Salze z. B. erhöhen die Temperatur des Siedepunktes des Wassers. Der Dampf, welcher sich aus solchen Lösungen bildet, ist gerade eben so rein, als ob er aus reinem Wasser sich gebildet hätte.

Legrand hat eine Menge interessanter Versuche über diesen Gegenstand angestellt, deren Resultate die folgende Tabelle enthält.

Tabelle
der Siedepunkte verschiedener gesättigter Lösungen.

Namen der Lösungen.	Siedepunkte.	Quantität des Salzes, welche 100 Theile Wasser sättigen.
Chlorsaures Kali	104,2	61,5
Chlorbarium	104,4	60,1
Kohlensaures Natron	104,6	48,5
Phosphorsaures Natron	106,5	113,2
Chlorkalium	108,3	59,4
Chlornatrium	108,4	41,2
Salzsaures Ammoniak	114,2	88,9
Neutrales weinsteinsaures Kali	114,67	269,2
Salpetersaures Kali	115,9	335,1
Chlorstrontium	117,6	117,5
Salpetersaures Natron	121,0	224,8
Essigsaures Natron	124,37	209,0
Kohlensaures Kali	133,0	205,0
Salpetersaurer Kalk	151,0	362,2
Essigsaures Kali	169,0	798,2
Chlorcalcium	179,5	325,0

Legrand hat sich nicht damit begnügt, die Siedepunkte der gesättigten wässerigen Lösungen zu bestimmen, sondern er machte auch zahlreiche und genaue Versuche, um die Salzmenge auszumitteln, welche man zu 100 Theilen Wasser setzen muß, damit der Siedepunkt um eine bestimmte Anzahl von Graden erhöht wird. Die folgende Tabelle giebt einen Auszug aus seiner Arbeit.

Erhöhung der Siedetemperatur in Graden.	Salpetersf. krystallisirtes Ammoniak.	Chlorcalcium.	Essigsaures Kali.	Salpetersaurer Kalk.	Kohlensaures Kali.	Essigsaures Natron.	Salpetersaures Natron.	Chlorstrontium.	Salpetersaures Kali.	Neutrales weinsteinsaures Kali.	Ammoniaksalz.	Chlornatrium.	Chlorkalium.	Phosphorsaures Natron.	Kohlensaures Natron.	Chlorbarium.	Chlorsaures Kali.
1	10,0	10,0	10,5	15,0	13,0	9,9	9,3	16,7	12,2	26,9	7,8	7,7	9,0	23,0	14,4	19,6	14,64
2	20,5	16,5	20,0	25,3	22,5	17,6	18,7	25,2	26,4	47,2	13,9	13,4	17,1	42,8	26,7	32,5	29,28
3	31,3	21,6	28,6	34,4	31,0	23,1	28,2	32,1	42,2	65,0	19,7	18,4	24,5	60,6	36,8	44,5	43,92
4	42,4	25,8	36,4	42,6	38,8	30,5	37,9	37,9	59,6	82,3	25,2	23,1	31,4	76,8	44,7	56,0	58,56
5	53,8	29,4	43,4	50,4	46,1	36,7	47,7	43,4	78,3	100,1	30,5	27,7	37,8	91,8			
6	65,4	32,6	49,8	57,8	53,1	42,9	57,6	48,8	98,2	118,5	35,7	31,8	44,2	106,1			
7	77,3	35,6	55,8	64,9	59,6	49,3	67,7	54,0	119,0	137,3	41,3	35,8	50,5				
8	89,4	38,5	61,6	71,8	65,9	55,8	77,9	59,0	140,6	156,5	47,3	39,7	56,9				
9	101,9	41,3	67,4	78,6	71,9	62,4	88,3	63,9	163,0	176,1	53,5						
10	114,9	44,0	73,3	85,3	77,8	69,2	98,8	68,9	185,9	196,2	59,9						
11	128,4	46,8	79,3	91,9	83,0	76,2	109,5	74,1	209,2	216,8	66,4						
12	142,4	49,7	85,3	98,4	88,2	83,4	120,3	79,6	233,0	237,9	73,3						
13	156,9	52,6	91,4	104,8	93,2	90,9	131,3	85,3	257,6	259,5	80,5						
14	172,0	55,6	97,6	111,2	98,0	98,8	142,4	91,2	283,3	281,6	88,1						
15	188,0	58,6	103,9	117,5	102,8	107,1	153,7	97,5	310,2								
16	204,4	61,6	110,3	123,8	107,5	115,8	165,2	104,0	336,0								
17	221,4	64,6	116,8	130,0	112,3	125,1	176,8	110,9									
18	238,8	67,6	123,4	136,1	117,1	134,9	188,6										
19	256,8	70,6	130,1	142,1	122,0	145,2	200,5										
20	275,3	73,6	136,9	148,1	127,0	156,1	212,6										
22	314,0	79,8	150,8	160,1	137,0	179,3											
24	354,0	86,0	165,1	172,2	147,1	204,5											
26	396,0	92,2	180,1	184,5	157,3												
28	440,2	98,4	196,1	197,0	167,7												
30	487,4	104,6	213,0	209,5	178,1												
32	537,3	110,9	230,6	222,2	188,8												
34	590,0	117,2	248,7	235,1	199,6												
36	645,0	123,5	267,5	248,1													
38	705,5	129,9	287,3	261,3													
40	770,5	136,3	308,3	274,7													
42	840,6	142,8	330,8	288,4													
44	915,5	149,4	354,9	302,6													
46	995,5	156,2	380,6	317,4													
48	1081,5	163,2	407,9	333,2													
50	1173,5	170,5	436,9	351,2													
52	1273,0	178,1	467,6														
54	1383,0	186,0	500,0														
56	1504,0	194,3	534,1														
58	1637,0	203,0	569,9														
60	1775,0	212,1	607,4														
62	1923,0	221,6	646,6														
64	2084,0	231,5	687,6														
66	„	241,9	730,4														
68	„	252,8	775,0														
70	„	264,2															
72	„	276,1															
74	„	288,5															
76	„	301,4															
78	„	314,8															
78	unendl.																

Rudberg hat durch genaue Versuche nachgewiesen, daß die Temperatur der aus einer siedenden Salzlösung sich entwickelnden Dämpfe vollkommen der Temperatur derjenigen Dämpfe gleich ist, welche unter gleichem Drucke aus reinem Wasser aufsteigen, die Temperatur der siedenden Salzlösung mag noch so viel die des siedenden Wassers übersteigen.

Wenn eine Flüssigkeit mit irgend einer anderen mehr oder weniger flüchtigen gemischt wird, so tritt ebenfalls eine Veränderung des Siedepunktes ein. So wird durch Alkohol der Siedepunkt des Wassers erniedrigt, durch Schwefelsäure aber erhöht.

Auch die Wände der Gefäße üben einen Einfluß auf den Siedepunkt aus; so kocht z. B. das Wasser in metallenen Gefäßen eher, als in gläsernen. Man beobachtet häufig, daß das Kochen unter einem heftigen Aufstoßen vor sich geht, welches um so stärker ist, je mehr Cohäsion die Theilchen der Flüssigkeit unter einander haben, und je stärker die Molekularwirkung zwischen den Theilchen der Flüssigkeit und jenen der Gefäßwände ist. Es reicht oft hin, einige Metallstückchen in die Glasgefäße zu werfen, um das Stoßen zu verhindern und das Kochen regelmäßig zu machen.

178 **Schnelligkeit des Kochens.** Die Menge des Dampfes, welche durch Kochen erzeugt wird, hängt von der Menge der Wärme ab, welche in einer gegebenen Zeit in die Flüssigkeit übergehen kann, und diese Wärmemenge hängt ab 1) von der Wirksamkeit des Heerdes, 2) von der Natur und der Dicke der Kesselwände, und 3) von der Größe der Oberfläche der Flüssigkeit, welche der Wirkung des Feuers ausgesetzt ist.

1. Die Wirksamkeit der Feuerstelle hängt von der Einrichtung des Ofens und der Natur des Brennstoffes ab, denn verschiedene Brennstoffe, wie Holz, Kohlen, Torf u. s. w., geben bei gleichem Gewicht nicht gleiche Wärmemengen, und auch nicht mit allen läßt sich dieselbe Temperatur hervorbringen.

2. Die äußere Oberfläche des Kessels kann mehr oder weniger geeignet seyn, Wärme aufzunehmen, und ferner werden wir sehen, daß die Natur der Wände und die Dicke derselben einen bedeutenden Einfluß auf die Menge der durchgehenden Wärme ausübt.

3. Das Wasser, welches die erhitzten Kesselwände berührt, empfängt zunächst die Wirkung des Feuers; und wenn jeder Theil der Wand gleiche Wärmemenge liefert, so ist klar, daß die Menge des Wassers, welche in einer gegebenen Zeit verdampft, der Größe desjenigen Theils der Kesselwand proportional ist, welcher vom Feuer getroffen wird. Dies ist auch durch Versuche bestätigt worden, welche wenigstens für die Praxis wichtig sind. Es scheint, daß unter den günstigsten Umständen bei einem möglichst lebhaften Feuer jedes Quadratmeter der erhitzten Oberfläche 2 bis 3 Kilogramme Wasser in der Minute verdampft. Es ist dies wenigstens der Fall bei den Locomotiven auf Eisenbahnen, welche mit einem Drucke von 4 bis 5 Atmosphären arbeiten. Zur Heizung der Kessel feststehender Niederdruckmaschinen sind die Einrichtungen so getroffen, daß möglichst an Brennmaterial gespart wird, und

bei diesen erhält man in der Regel nur $^2/_3$ Kilogramm Dampf in der Minute von jedem Quadratmeter der erhitzten Fläche, wenn man auch diejenigen Theile des Kessels eben so gut als Feuerfläche betrachtet, welche nur der Wirkung des Rauchs ausgesetzt sind, als diejenigen, welche die directe Wirkung der Flamme empfangen.

Siedepunkt verschiedener Flüssigkeiten. Bei gleichem Drucke sind die Siedepunkte verschiedener Flüssigkeiten nicht dieselben. Die folgende Tabelle enthält die Siedepunkte mehrerer Flüssigkeiten für einen mittleren Barometerstand von 760mm. 179

Cyangas	—	18	Grad.
Schweflige Säure . . .	—	10	»
Chloräthyl	+	12,5	»
Schwefeläther		37,8	»
Schwefelkohlenstoff . .		47,0	»
Alkohol		79,7	»
Terpentinöl		157	»
Phosphor		290	»
Schwefel		299	»
Schwefelsäure		310	»
Leinöl		316	»
Quecksilber		350	»

Der Leidenfrost'sche Tropfen. Einige Flüssigkeiten zeigen, mit rothglühenden Metallflächen in Berührung gebracht, die eigenthümliche Erscheinung, daß sie nicht in's Kochen kommen. Im Kleinen kann man den Versuch leicht anstellen, wenn man eine Metallschale (von Silber oder Platin) über einer Spirituslampe bis zum Rothglühen erhitzt und dann einige Tropfen Wasser in die glühende Schale fallen läßt. Die Flüssigkeit rundet sich ab wie Quecksilber in einem Glasgefäße, nimmt eine rasche drehende Bewegung an, ohne in's Kochen zu kommen und ohne merklich an Volumen abzunehmen. Wenn die Flamme der Spirituslampe groß genug ist, um ein lebhaftes Glühen der Metallschale zu erhalten, so kann man nach und nach eine ziemlich beträchtliche Menge Wasser in die Schale gießen, ohne daß es in's Sieden kommt. Wenn man aber die Flamme unter der Schale auslöscht und diese etwas erkalten läßt, beginnt das Wasser plötzlich mit der größten Heftigkeit zu kochen, so daß das Wasser nach allen Richtungen hin fortgeschleudert wird. Diese Erscheinung wurde zuerst von Leidenfrost beobachtet, daher der Name des Leidenfrost'schen Tropfens. 180

Die wahrscheinliche Ursache dieses sonderbaren Phänomens ist die, daß zwischen den Theilchen des Wassers und dem glühenden Metall eine zu wenig innige Berührung stattfindet, daß die Flüssigkeit durch eine Dampfschicht getragen wird, welche den Uebergang der Wärme vom Metall zum Wasser erschwert und folglich das Sieden verzögert. Bei abnehmender Hitze stellt sich die Berührung wieder her, daher die heftige plötzliche Dampfbildung.

Auch unter anderen Umständen, bei beträchtlicheren Massen, ist diese Erscheinung beobachtet worden, z. B. im Papinianischen Topfe und in Kesseln von Dampfmaschinen; sie ist die Ursache gefährlicher Explosionen. Wenn nämlich die Oberfläche des Wassers in einem Dampfkessel so weit gesunken ist, daß ein Theil der Feuerfläche nicht mehr mit Wasser in Berührung ist, so kann das Metall an dieser Stelle glühend werden. Wenn nun von Neuem Wasser in den Kessel zufließt, so sind die Bedingungen zum Leidenfrost'schen Phänomen gegeben; einige Zeit lang bleibt das Wasser mit der glühenden Fläche in Berührung, ohne hier zu kochen; nachdem aber die Kesselwände sich etwas abgekühlt haben, beginnt auf einmal die Dampfbildung mit solcher Heftigkeit, daß die Dämpfe nicht einmal durch das geöffnete Sicherheitsventil schnell genug entweichen können; es erfolgt eine Explosion.

Eine Erscheinung, welche auch hierher gehört, ist von Perkins beobachtet worden. Bei der Rothglühhitze kann man nämlich mehrere kleine Oeffnungen in die Wände von Dampfkesseln machen, ohne daß Dampf entweicht, bei niedriger Temperatur aber strömt der Dampf mit Gewalt hervor.

181 **Verdunstung** nennt man die Bildung von Dampf an der freien Oberfläche der Flüssigkeit, während, wie wir gesehen haben, das Kochen darin besteht, daß sich auch im Inneren der flüssigen Masse Dampf bildet. Das Wasser verdampft an der Oberfläche der Flüsse, Seen und Meere, es verdampft an der Oberfläche des feuchten Bodens, an den Pflanzen. Offenbar hat der sich so bildende Wasserdampf keine Spannkraft, welche stark genug ist, um den Druck der atmosphärischen Luft zu überwinden. Die alltäglichsten Beobachtungen zeigen uns, daß sich bei jeder Temperatur Wasserdampf bildet, und daß er sich auch bei der schwächsten Tension doch in der Luft verbreitet. Man hatte früher angenommen, daß eine chemische Verwandtschaft zwischen den Luftmolekülen und denen des Wasserdampfs die Ursache dieser Erscheinung sey; wir haben aber gesehen, daß es nicht nöthig ist, chemische Kräfte zu Hülfe zu nehmen. Der Wasserdampf, so schwach seine Spannkraft auch seyn mag, mischt sich mit der Luft, wie sich zwei Gase mischen. Die einzige Bedingung also, welche erfüllt seyn muß, damit eine Flüssigkeit verdunsten kann, ist die, daß die umgebenden Luftschichten nicht mit Dampf gesättigt sind; da ferner bei der Mischung zweier Gase die Moleküle des einen ein mechanisches Hinderniß für die Verbreitung des anderen bilden, so kommt es, daß bei der Verdunstung die Luft ein Hinderniß für die schnelle Verbreitung des Dampfes ist. In einer vollkommen ruhigen Atmosphäre geht deshalb die Verdunstung nur langsam vor sich, während sie bei bewegter Luft weit rascher erfolgt, indem die Flüssigkeit stets mit neuen Luftschichten in Berührung kommt, die noch nicht mit Dampf gesättigt sind. Daher kommt es, daß das Wasser rasch verdunstet, wenn ein trockener Wind mit Lebhaftigkeit weht.

Die Schnelligkeit der Verdunstung hängt nicht allein von der Bewegung der Luft ab, sondern auch von der Tension des Dampfes, oder vielmehr von der Differenz zwischen dem Maximum der Spannkraft, welche dem Wasserdampfe

bei der herrschenden Temperatur zukommt, und der Tension des Wasserdampfes, welcher schon in der Luft enthalten ist. Aus den Versuchen, welche Dalton über diesen Gegenstand anstellte, geht hervor, daß die Menge der Flüssigkeit, welche in einer gegebenen Zeit verdunsten kann, stets dieser Differenz der Spannkräfte proportional ist. Bei gleicher Oberfläche wird also in einer vollkommen trockenen Luft bei einer Temperatur von 11° gerade eben so viel Wasser verdunsten, als während derselben Zeit bei 30° in einer Luft, welche schon Wasserdampf von 20 Millimeter Spannkraft enthält.

Es ist wohl kaum nöthig zu bemerken, daß unter übrigens gleichen Umständen die Wassermenge, welche in einer gegebenen Zeit verdunstet, der Größe der Oberfläche proportional ist, an welcher die Verdunstung stattfindet.

Alle übrigen Flüssigkeiten verdunsten an der freien Luft nach denselben Principien wie das Wasser, und zwar geht die Verdunstung stets um so rascher vor sich, je niedriger der Siedepunkt der verdampfenden Flüssigkeit ist. So verdunstet Weingeist rascher wie Wasser, und Aether rascher als Weingeist.

Wir werden in der Meteorologie alle die Phänomene der Natur kennen lernen, welche von der Bildung des Wasserdampfes, seiner Suspension in der Atmosphäre und seiner Condensation in Gestalt von Regen, Thau, Reif u. s. w. abhängen.

Latente Wärme der Dämpfe. Wenn eine Flüssigkeit verdampft, so 183
muß sie Wärme absorbiren; diese beim Verdampfen absorbirte Wärme ist für das Gefühl und für das Thermometer eben so verschwunden, wie die Wärme, welche beim Schmelzen gebunden wird.

Daß bei der Dampfbildung Wärme gebunden wird, geht schon daraus hervor, daß die Temperatur einer Flüssigkeit während des Kochens unverändert bleibt. Die Temperatur des siedenden Wassers bleibt 100°, wie sehr wir auch das Feuer verstärken mögen; alle Wärme, welche man dem siedenden Wasser zuführt, dient nur dazu, das Wasser von 100° in Dampf von 100° zu verwandeln.

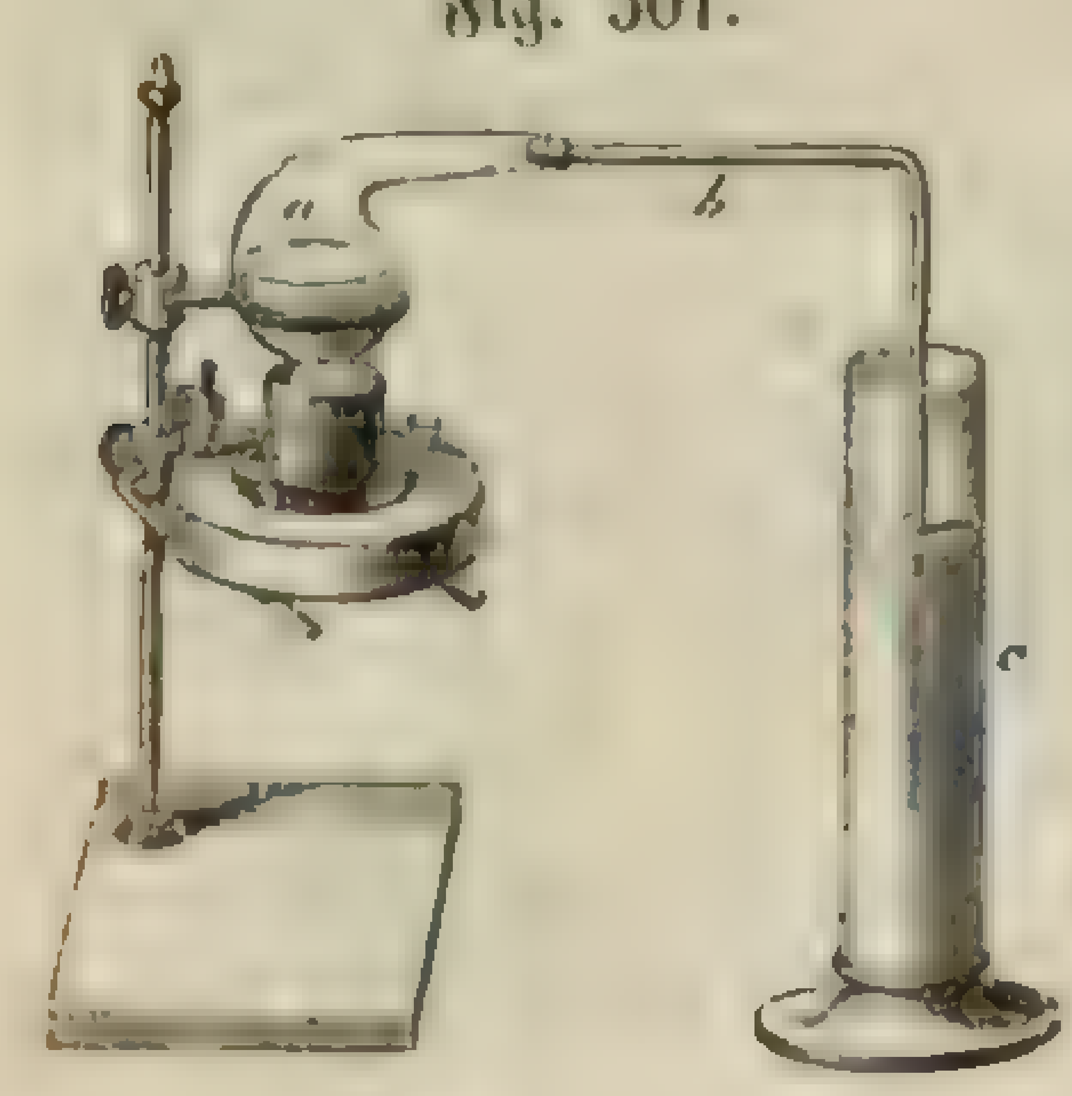
Das Binden von Wärme beim Verdampfen von Flüssigkeiten läßt sich leicht dem Gefühle merklich machen; man gieße nur einige Tropfen einer leicht verdampfenden Flüssigkeit, etwa Weingeist oder Schwefeläther, auf die Hand, so wird man ein Gefühl von Kälte haben, weil der Hand die zum Verdampfen der Flüssigkeit nöthige Wärme entzogen wird. Wenn man die Kugel eines Thermometers mit Baumwolle umwickelt, diese mit Schwefeläther betröpfelt und durch rasches Hin- und Herschwenken die Verdunstung beschleunigt, so sinkt das Thermometer bis unter den Gefrierpunkt.

Wenn wir an heißen Tagen in Zugluft treten, so fühlen wir alsbald eine erfrischende Kühle. Es ist dies keineswegs die Folge davon, daß uns der Zug kalte Luft zuführt; die an uns vorüberstreichende Luft mag, wie wir uns durch das Thermometer überzeugen können, sehr warm seyn und der Zug bringt uns dennoch diese Abkühlung, weil er eine lebhafte Verdunstung auf der Haut erhält.

Wir haben das Gefühl einer drückenden Schwüle selbst bei mäßiger Temperatur, wenn wir uns in einer mit Feuchtigkeit gesättigten Atmosphäre befinden, in welcher keine Verdunstung mehr stattfinden kann.

Nachdem wir nun die Bindung der Wärme bei der Dampfbildung der Art nach kennen gelernt haben, kommt es darauf an, die latente Wärme der Dämpfe auch der Größe nach zu bestimmen, d. h. zu ermitteln, wieviel Wärme nöthig ist, um eine bestimmte Menge irgend einer Flüssigkeit in Dampf zu verwandeln.

Fig. 501.



In Fig. 501 stelle *a* einen Glaskolben vor, in welchem Wasser mit Hülfe einer Weingeistlampe kochend erhalten wird; wenn nun die sich bildenden Dämpfe durch ein Glasrohr *b* in ein cylindrisches Gefäß *c* geleitet werden, welches mit kaltem Wasser gefüllt ist, so werden die Dämpfe hier verdichtet; die Wärme also, welche bei der Bildung der Dämpfe in *a* gebunden wurde, muß in *c* wieder frei werden, wodurch das kalte Wasser in *c* allmälig erwärmt wird. Aus der hier hervorgebrachten Temperaturerhöhung kann man aber auf die Größe der latenten Wärme der Dämpfe schließen.

Nehmen wir an, das Kochen im Gefäße *a* habe schon einige Zeit gedauert, so daß alle Luft aus dem Gefäße ausgetrieben ist, und nun erst tauche man das Ende des gekrümmten Rohrs in das kalte Wasser des Cylinders *c*, so werden alle Dampfblasen alsbald verdichtet, so wie sie mit dem kalten Wasser in Berührung kommen. In dem Maaße aber, als das Wasser in *c* wärmer wird, werden die Dampfblasen größer, bis endlich, wenn auch das Wasser in *c* zur Siedehitze erwärmt ist, die Dampfblasen unverdichtet durch die ganze Flüssigkeitsmasse aufsteigen, also in *c* selbst ein förmliches Kochen stattfindet. In dem Augenblicke, in welchem das Kochen in *c* beginnt, wird der Versuch unterbrochen, indem man den Glascylinder *c* wegnimmt.

Gesetzt nun, in *c* hätten sich zu Anfang des Versuchs 11 Kubikzoll Wasser von 0° befunden, so wird der Cylinder jetzt, nach Beendigung des Versuchs, 13 Kubikzoll Wasser von 100° enthalten; es sind also 2 Kubikzoll Wasser hinzugekommen. Diese zwei Kubikzoll Wasser sind im Gefäße *a* verdampft und im Cylinder *c* verdichtet worden, die latente Wärme, welche in *a* gebunden wurde, ist in *c* wieder frei geworden und hat hier die 11 Kubikzoll Wasser von 0° auf 100° erwärmt; dieselbe Wärmemenge also, welche bei der Verdampfung von 2 Kubikzoll Wasser absorbirt wird, reicht hin, um die Temperatur von 11 Kubikzoll Wasser von 0° bis 100° zu erhöhen. Nun aber verhalten sich 2 zu 11 wie 1 zu 5,5; wir können das Resultat unsers Versuchs also auch folgendermaßen ausdrücken: Die Wärmemenge, welche nöthig ist, um eine bestimmte Quantität Wasser von 100° in Dampf von 100° zu verwandeln, reicht hin, um die Temperatur einer $5\frac{1}{2}$mal so großen Wassermasse von 0° auf 100° zu erhöhen.

Wir haben oben angeführt, daß man als Einheit der Wärmemengen diejenige Wärmequantität annimmt, welche erforderlich ist, um die Temperatur von 1 Kilogramm Wasser um 1° zu erhöhen; um die Temperatur von $5\frac{1}{2}$ Kilogramm Wasser um 1° zu erhöhen, sind also 5,5, und um die Temperatur dieser Wassermasse um 100° zu erhöhen, sind 550 solcher Wärmeeinheiten nöthig.

Die latente Wärme von 1 Kilogramm Wasserdampf ist demnach gleich 550.

Der eben angeführte Versuch ist nicht geeignet, die latente Wärme des Wasserdampfes genau zu bestimmen, er wird immer mehr oder weniger unrichtige Resultate geben; er ist aber sehr geeignet, den Zusammenhang der Sache recht anschaulich zu machen. Was die Resultate dieses Versuchs besonders ungenau macht, ist der Umstand, daß die hohe Temperatur, zu welcher man das Wasser im Cylinder *c* erheben muß, einen bedeutenden Wärmeverlust an die Umgebung zur Folge hat; dann aber wird auch eine nicht unbedeutende Quantität Wasserdampf schon im Rohre verdichtet, giebt hier schon seine frei werdende Wärme an die Luft ab und kommt als Wasser im Cylinder *c* an; man begreift also leicht, daß, bis das Wasser in *c* in's Kochen kommt, mehr Wasser aus dem Gefäße *a* herübergekommen seyn wird, als es der Fall seyn würde, wenn diese beiden Fehlerquellen nicht vorhanden wären; dieser Versuch wird also in der Regel einen zu kleinen Werth für die latente Wärme des Wasserdampfes geben. Wir werden sogleich genauere Methoden zur Bestimmung dieser Größe kennen lernen.

Bei der Destillation werden die in irgend einem Gefäße durch Erwärmung gebildeten Dämpfe in ein Rohr geleitet, welches mit kaltem Wasser umgeben ist; dadurch werden die Dämpfe in diesem Rohre in tropfbare Flüssigkeit verwandelt, die Temperatur des Kühlwassers aber wird durch die bei der Condensirung der Dämpfe frei werdende Wärme bedeutend erhöht; man kann sich davon leicht schon an dem kleinen Destillirapparate, Fig. 502, überzeugen, bei welchem die Dämpfe aus dem Glaskolben, in welchem sie erzeugt werden, in

Fig. 502.

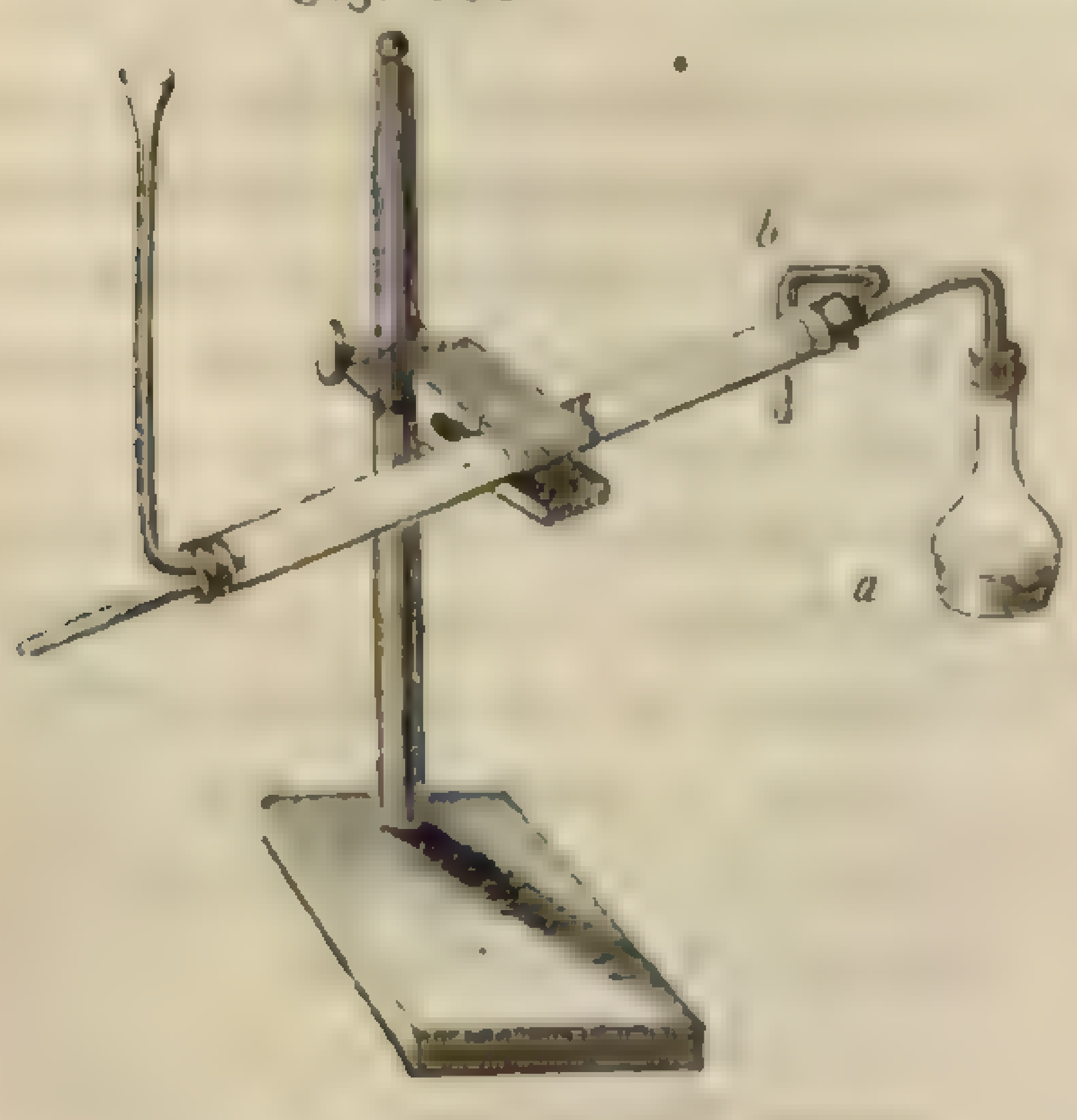


Fig. 503.

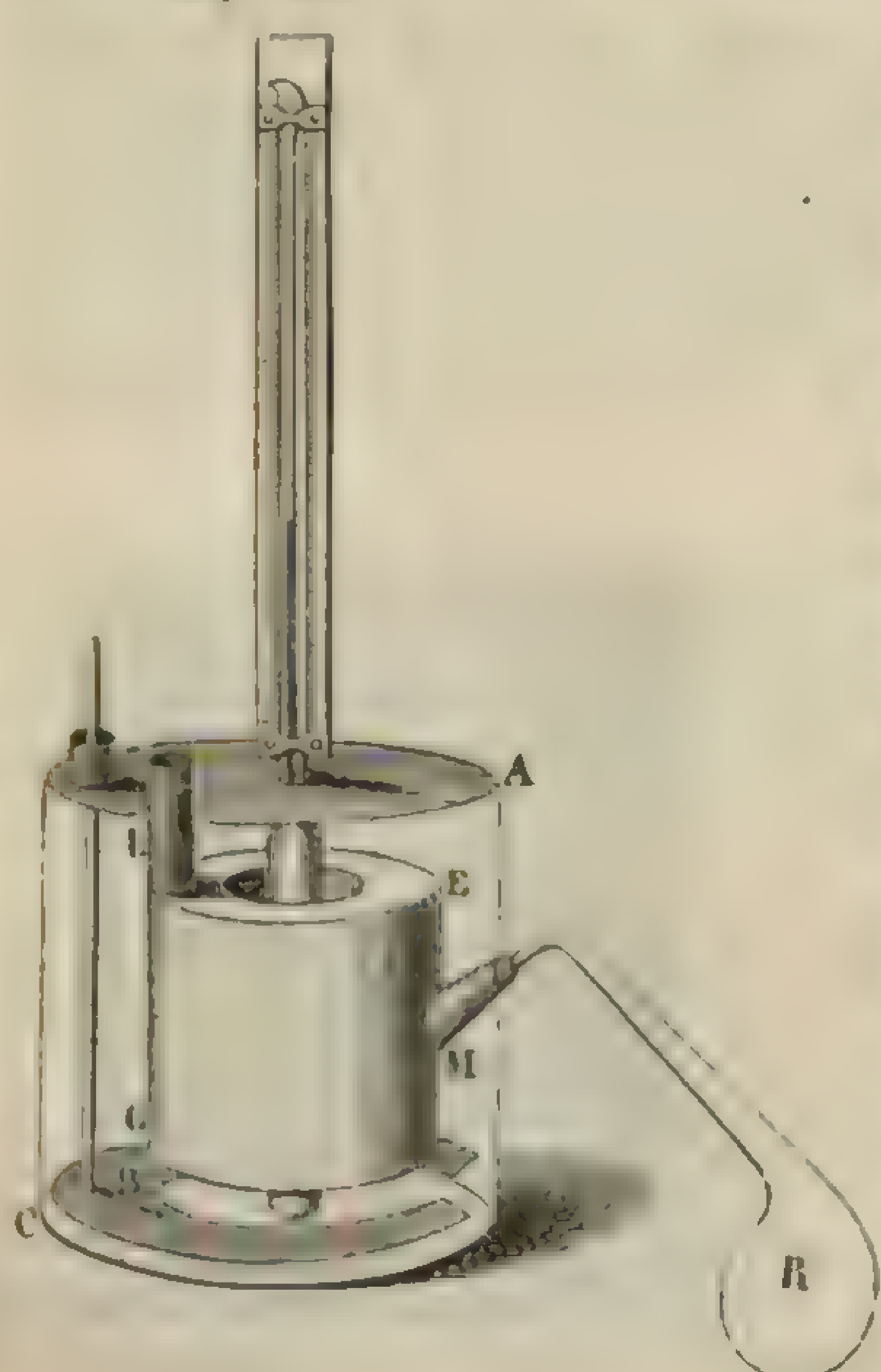


ein gerades Rohr übergehn, welches selbst wieder in einer weiteren, das Kühlwasser enthaltenden Röhre steckt. Das Kühlwasser, welches am unteren Ende des Kühlrohrs kalt zufließt, fließt am oberen Ende desselben erwärmt wieder ab. Bei Destillationen, welche in größerem Maaßstabe ausgeführt werden, ist das Rohr, in welchem die Dämpfe condensirt werden sollen, in Form einer Schraubenlinie durch das mit dem Kühlwasser gefüllte Gefäß geleitet, wie man Fig. 503 (s. v. S.) sieht, damit die Dämpfe möglichst lange mit dem kalten Wasser in Berührung bleiben und man überzeugt seyn kann, daß am offnen Ende des Rohrs kein Dampf unverdichtet entweicht. Wenn ein solcher Apparat einige Zeit im Gange geblieben ist, so wird man die oberen Schichten des Wassers im Kühlgefäße immer sehr heiß finden, weil natürlich das erwärmte Wasser sogleich in die Höhe steigt.

Man könnte nun mit jedem Destillirapparate den Werth der latenten Wärme der Dämpfe bestimmen, wenn es möglich wäre, jederzeit genau zu ermitteln, wie viel Dampf in einer gegebenen Zeit verdichtet worden ist und wie viel Wärme er an das Kühlwasser abgegeben hat; um die latente Wärme der Dämpfe genau zu bestimmen, hat man also nur einen Destillirapparat so einzurichten, daß sich diese Größen mit Genauigkeit ermitteln lassen.

Black hat zuerst diese Methode in Anwendung gebracht, und alle späteren Physiker, welche die latente Wärme der Dämpfe zu bestimmen suchten, sind von derselben Grundidee ausgegangen. Wenn die Resultate verschiedener Untersuchungen über diesen Gegenstand ziemlich von einander abweichen, so liegt der Grund nur darin, daß mancherlei Fehlerquellen nicht immer gehörig berücksichtigt wurden.

Fig. 504.



Die neueste, sehr gründlich durchgeführte Arbeit über die latente Wärme der Dämpfe hat Brix in Berlin gemacht (Poggendorff's Annalen LV.). In Fig. 504 ist der Apparat dargestellt, den er zu seinen Versuchen anwendete. Als Kühlgefäß diente ein cylindrisches Gefäß AC, dessen Basis ungefähr 3 Zoll Durchmesser hatte und welches auch ungefähr 3 Zoll hoch war; die in einer kleinen Retorte R entwickelten Dämpfe wurden, nicht wie gewöhnlich in einem Schlangenrohre, sondern in einem cylindrischen hohlen Gefäße EG, von ringförmiger Basis, condensirt. Bei M wurden die Dämpfe in dieses Gefäß hineingeleitet, dessen innerer Raum durch eine Röhre L

mit der äußeren Luft in Verbindung war, so daß die durch die Wärme verdrängte Luft hier austreten konnte. Das Kühlgefäß wurde mit einer gewogenen Quantität Wasser gefüllt, dessen Temperatur man stets an einem in der Mitte des ganzen Apparates angebrachten Thermometer ablesen konnte. In dem Raume zwischen der Vorlage EG und der Wand des äußeren Gefäßes AC befand sich eine horizontal liegende Metallscheibe B, welche vermittelst eines verticalen Drahtes sich selbst parallel auf und ab bewegen konnte; dadurch wurde das Kühlwasser in steter Bewegung erhalten und eine möglichst gleichförmige Vertheilung der Wärme in demselben bewirkt.

Bei dem Versuche ruhte der Apparat auf drei hölzernen Füßchen, welche ihn nur in wenigen Punkten berührten; gegen die Wärme, welche vom Beobachter und der kleinen Weingeistlampe, durch welche die Flüssigkeit in der Retorte R in's Kochen gebracht wurde, ausstrahlte, war er durch Schirme von Holz und Pappe geschützt.

Um zu verhüten, daß das Kühlgefäß Wärme an die umgebende Luft verliert, wandte Brix einen Kunstgriff an, dessen sich schon Rumford bei ähnlichen Versuchen bedient hatte, und welcher darin besteht, daß das Kühlgefäß mit Wasser gefüllt wird, welches zuvor schon einige Grade unter die Temperatur der umgebenden Luft erkaltet worden war, und daß man die Destillation so lange fortsetzt, bis die Temperatur des Kühlwassers die Lufttemperatur um eben so viel übertrifft, als sie anfangs unter derselben gewesen war. Dabei läßt sich dann wohl annehmen, daß der Apparat während der ersten Hälfte des Versuchs etwa eben so viel Wärme von der Luft empfing, als er in der zweiten Hälfte verlor. Die übrigen Vorsichtsmaßregeln, welche Brix anwandte, um möglichst genaue Resultate zu erhalten, können hier nicht weiter erörtert werden.

Die übergegangene Flüssigkeit selbst wurde nicht gewogen, sondern der Gewichtsverlust, den sie in der Retorte R während des Versuchs erlitten hatte, bestimmt. Man kannte also die Quantität der überdestillirten Flüssigkeit, man wußte, welche Temperaturerhöhung die bei ihrer Verdichtung frei werdende Wärme in einer bekannten Wassermasse hervorgebracht hatte, und konnte daraus die latente Wärme der Dämpfe berechnen.

Folgendes sind die Werthe, welche Brix nach dieser Methode für die latente Wärme des Dampfes mehrerer Flüssigkeiten fand:

Wasser	540
Alkohol	214
Schwefeläther	90
Terpentinöl	74
Citronenöl	80.

Diese Werthe sind immer das Mittel aus mehreren wenig von einander abweichenden Resultaten.

Desprez, welcher ebenfalls recht genaue Versuche über diesen Gegenstand gemacht hatte, giebt folgende Werthe an:

Wasser	531
Alkohol	208

Schwefeläther	97
Terpentinöl	77.

Rumford fand für die latente Wärme des Wasserdampfes den Werth 567, Dulong 543.

Bezeichnen wir den Werth für die latente Wärme des Wasserdampfs mit 1, so ergeben sich folgende Werthe für die latente Wärme der übrigen Dämpfe:

	Nach Brix.	Nach Despretz.
Wasser	1	1
Alkohol	$\frac{1}{2{,}52}$	$\frac{1}{2{,}55}$
Schwefeläther.	$\frac{1}{6}$	$\frac{1}{5{,}47}$
Terpentinöl	$\frac{1}{7{,}3}$	$\frac{1}{7.}$

Nimmt man die Dichtigkeit des Wasserdampfes zur Einheit, so ergeben sich für die Dichtigkeit der Dämpfe der eben besprochenen Flüssigkeiten aus der Tabelle auf Seite 509 folgende Werthe:

Wasser	1
Alkohol	2,58
Schwefeläther . . .	4,15
Terpentinöl . . .	8,04.

Die Betrachtung dieser Zahlen zeigt, daß sich die latente Wärme der Dämpfe verschiedener Flüssigkeiten sehr nahe umgekehrt verhält, wie die Dichtigkeit dieser Dämpfe. So ist der Alkoholdampf 2,58mal dichter als Wasserdampf, die latente Wärme des Alkoholdampfes ist aber 2,52= bis 2,55mal kleiner als die des Wasserdampfes. Beim Terpentinöl ist die Uebereinstimmung geringer; wenn wir jedoch für die Dichtigkeit des Terpentinöldampfes, nach Dumas, den Werth 4,76 nehmen, so ist er 7,6mal dichter als der Wasserdampf, was schon weit besser paßt. Für den Aether ist die Differenz bedeutend. Es muß vor der Hand dahingestellt bleiben, ob der Mangel an Uebereinstimmung vielleicht den Beobachtungsfehlern zugeschrieben werden muß, oder ob das angeführte Gesetz gar nicht stattfindet.

Wenn dieses Gesetz richtig wäre, so würden gleiche Volumina gesättigten Dampfes bei der Temperatur des Siedepunktes für alle Flüssigkeiten dieselbe Menge latenter Wärme enthalten.

Die bisher besprochenen Werthe für die latente Wärme der Dämpfe gelten natürlich nur für die bei der Temperatur des Siedepunktes unter einem Luftdrucke von 760mm gebildeten Dämpfe.

Die latente Wärme der Dämpfe ist nicht für alle Temperaturen dieselbe; sie ist größer für niedrige, geringer für hohe Temperaturen; ein Kilogramm Wasserdampf von 50° enthält also mehr, ein Kilogramm Wasserdampf von 150° enthält weniger gebundene Wärme als ein Kilogramm Wasserdampf von 100°. Nach den Versuchen von Scharp ist die Summe der freien und der fühlbaren

Wärme des Wasserdampfes immer eine constante Größe. Die latente Wärme des Wasserdampfes von 100° ist gleich 540, addirt man dazu die freie Wärme, also 100°, so erhält man die Summe 640; dieselbe Summe muß man erhalten, wenn man für irgend eine andere Temperatur die freie und die gebundene Wärme zusammennimmt; daraus ergeben sich für die latente Wärme des Wasserdampfes verschiedener Temperaturen folgende Werthe:

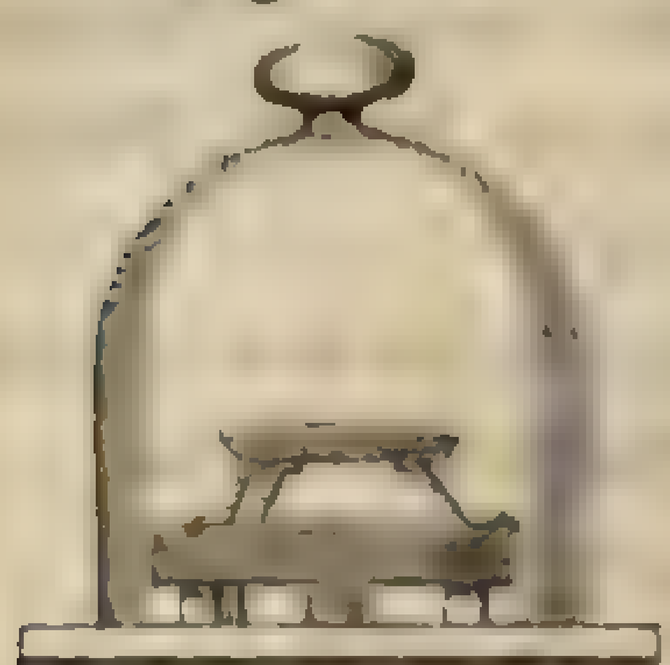
Freie Wärme des Dampfes.	Latente Wärme des Dampfes.
— 10°	650
0°	640
+ 50°	590
100°	540
200°	440

Pambour's Versuche haben dies bestätigt. Nach Despretz findet für Alkohol-, Aether- und Terpentinöldampf diese Beziehung nicht Statt.

Erzeugung von Kälte durch Verdampfung. Wenn eine Flüssigkeit 183 an freier Luft kocht, so behält sie eine constante Temperatur, weil sie von dem Feuer durch die Wände des Gefäßes stets so viel Wärme erhält, als durch die Dampfbildung absorbirt wird. Wenn das Kochen aber unter dem Recipienten der Luftpumpe vor sich geht, so sinkt die Temperatur fortwährend, weil alsdann der Dampf die zu seiner Bildung nöthige latente Wärme aus der Flüssigkeit selbst und aus den umgebenden Körpern nehmen muß. Durch die bei rascher Verdampfung stattfindende Wärmebindung erklären sich folgende Versuche.

Man setzt unter den Recipienten der Luftpumpe ein breites Glasgefäß, welches mit Schwefelsäure gefüllt ist. Einige Zoll darüber ist ein ganz dünnes flaches Metallschälchen angebracht, Fig. 505, welches einige Gramm Wasser enthält. Gewöhnlich ist dieses Schälchen an drei Fäden aufgehängt, oder es ruht auf drei feinen Metallfüßen, welche auf dem Rande des unteren Glasgefäßes aufstehen. Nach einigen Kolbenzügen kommt das Wasser in's Kochen; fährt man fort auszupumpen, so hört das Kochen auf, und wenn die Leere so vollständig wie möglich hergestellt ist, erscheinen nach einigen Minuten Eisnadeln im Schälchen, und bald ist die ganze Wassermasse in eine feste Masse verwandelt. Dieser merkwürdige Versuch rührt von Leslie her. Die Schwefelsäure absorbirt den Wasserdampf, sobald er sich bildet, und unterhält dadurch eine rasche Verdunstung. Alle Körper, welche den Wasserdampf stark absorbiren, bringen dieselbe Wirkung hervor. Das Metallschälchen muß sehr dünn seyn, weil es auch an der Erkaltung Theil nehmen muß; es muß von der Umgebung durch schlechte Wärmeleiter isolirt seyn, damit dem Wasser nicht von außen Wärme zugeführt wird.

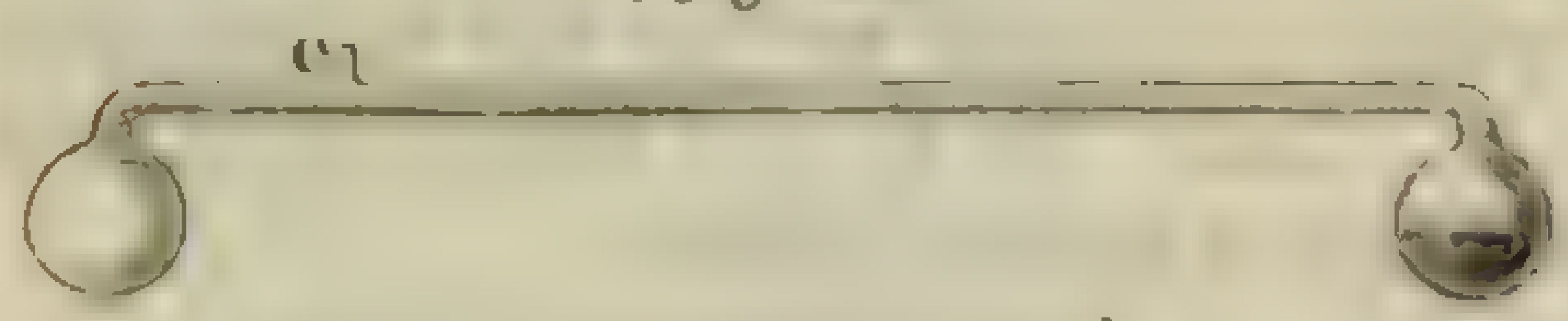
Fig. 505.



In Wollaston's Kryophor gefriert das Wasser ebenfalls durch seine eigene Verdampfung. Zwei Glaskugeln, Fig. 506 (s. f. S.), sind durch eine

Röhre verbunden. In jede Kugel wird etwas Wasser gebracht und durch das Kochen desselben alle Luft aus dem Apparate ausgetrieben. Ist dies geschehen, so wird die Oeffnung bei *e* mittelst eines Löthrohrs zugeschmolzen, und so der Apparat luftdicht verschlossen. Wenn man nun alles Wasser in einer Kugel zusammenlaufen läßt und dann die andere Kugel in eine Kältemischung taucht, so wird durch die fortwährend hier erfolgende Verdichtung der Wasserdämpfe in der anderen Kugel eine so rasche Verdunstung hervorgerufen, daß das Wasser gefriert.

Fig. 506.



Auch durch die rasche Verdunstung von Schwefeläther kann man Wasser leicht zum Gefrieren bringen. Man umwickelt zu diesem Zwecke eine mit Wasser gefüllte, etwa 1 Linie weite Glasröhre mit Baumwolle, die man mit Schwefeläther beträufelt. Die so vorgerichtete Röhre bringt man in einem beliebigen Glasgefäße unter die Glocke der Luftpumpe. Beim Evacuiren verdunstet der Aether so rasch, daß das Wasser gefriert.

Man kann die Erkältung durch Verdampfen bis zum Gefrierpunkte des Quecksilbers treiben. Zu diesem Zwecke umwickelt man eine Thermometerkugel mit einem Schwämmchen oder einem schwammartigen Gewebe, welches man mit Schwefelkohlenstoff oder noch besser mit flüssiger schwefliger Säure befeuchtet. Die Verdampfung geht so rasch vor sich, und die dadurch weggenommene Wärmemenge ist so bedeutend, daß das Thermometer auf — 10°, — 20°, — 30° fällt und nach einigen Augenblicken das Quecksilber in der Kugel gefriert.

Eine Flüssigkeit verdampft um so rascher, sie erzeugt also bei ihrer Verdampfung eine um so stärkere Kälte, je tiefer ihr Siedepunkt liegt; deshalb wird durch Verdampfen von Schwefeläther eine stärkere Kälte erzeugt als durch Wasser, durch schweflige Säure mehr als durch Aether, durch flüssige Kohlensäure mehr als durch schweflige Säure.

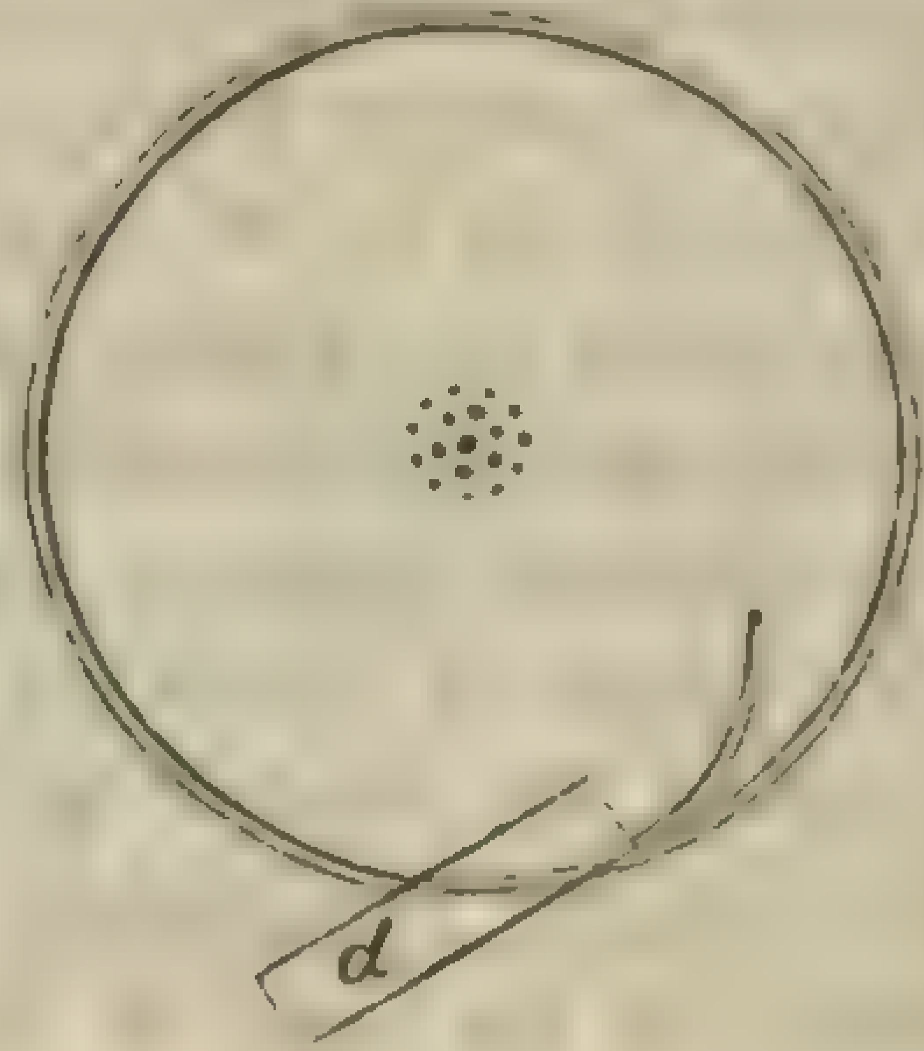
Wenn man den mit flüssiger Kohlensäure gefüllten Recipienten des Apparates Fig. 475 auf Seite 512 in einer Kältemischung abkühlt, ihn dann umkehrt, und den Hahn, welcher nun unten ist, öffnet, so dringt ein Strahl flüssiger Kohlensäure hervor, welche ganz milchig erscheint, weil durch die rasche Verdunstung soviel Wärme gebunden wird, daß ein Theil der Kohlensäure selbst in den festen Zustand übergeht; es bilden sich schneeähnliche Flocken von Kohlensäure. Um diese feste Kohlensäure zu sammeln, dient der Behälter Fig. 507. Zwei Cylinder von Messingblech, welche auf der einen Seite mit einem gewölbten Boden geschlossen sind, werden zusammengesteckt, wie man Fig. 507 sieht, so daß sie einen geschlossenen Raum bilden. Ein am oberen Cylinder fest ansitzender Haken *a* greift ebenso wie ein diametral gegenüberstehender über einen auf den anderen Cylinder aufgelötheten Drahtring und hindert dadurch das Auseinandernehmen der beiden Theile; dreht man sie aber so, daß der Haken *a* an die Stelle *b* kommt, wo der Drahtring unter-

brochen ist, so kann man die beiden Theile auseinandernehmen. In Fig. 508 ist der untere Theil dieser Vorrichtung im Grundrisse dargestellt. Eine Röhre *d*

Fig. 507.



Fig. 508.



führt in den Behälter hinein; in diese Röhre *d* wird das an der Flasche Fig. 475 befindliche Röhrchen *n* hineingesteckt und dann die Schraube *t* geöffnet. Die Kohlensäure strömt nun in den Behälter Fig. 507, dessen Handgriffe auf beiden Seiten hohl sind, so daß durch die Löcher in den beiden Böden die verdampfende Kohlensäure entweichen kann, während die feste schneeartige in dem Blechgefäße gesammelt wird. Man braucht nur die beiden Theile auseinander zu nehmen, um die feste Kohlensäure herausnehmen zu können.

Diese hat nun eine sehr geringe Temperatur, welche noch dadurch erniedrigt werden kann, daß man Aether darauf tröpfelt; eine ziemliche Quantität Quecksilber kann man mit diesem Brei augenblicklich gefrieren machen; mit dem Finger berührt, erzeugt sie ein schmerzhaftes Gefühl; die Temperatur ist unter — 90°, was jedoch nur mit Thermometern von Weingeist oder Schwefelkohlenstoff ermittelt werden kann.

Man kann, wie schon oben bemerkt wurde, auch Stickstoffoxydulgas mit Hülfe des Natterer'schen Apparates verdichten. Wenn die Oeffnung im Röhrchen *n* recht fein ist, so erhält man das ausströmende Stickstoffoxydulgas auch in freier Luft im flüssigen Zustande. Natterer sammelte ein kleines Trinkglas voll dieser Flüssigkeit, die sich bei weitem länger erhielt als feste Kohlensäure und die niedrigste Temperatur liefert, die man bis jetzt kennt. Ein zu diesem Zwecke eigens vorgerichtetes Thermometer sank auf — 105°, was wohl der Siedepunkt der Flüssigkeit seyn dürfte; aus der Flüssigkeit herausgezogen, sank es noch auf — 115°, indem es sich mit einer Kruste von festem Stickstoffoxydul überzog. Alkohol von 0,84 specif. Gewicht wird bei diesen niedrigen Temperaturen zähe, von 0,797 specif. Gewicht bedeutend dickflüssig.

Die Alcarazzas, deren man sich in Spanien bedient, um Wasser und geistige Getränke kühl zu erhalten, sind poröse Gefäße, welche eine große Oberfläche für die Verdunstung bieten. Die im Inneren befindliche Flüssigkeit sickert durch die Wände durch, sie verdampft rasch in einer etwas bewegten Luft, namentlich wenn man diese Gefäße unter den Bäumen, an welchen sie aufgehängt sind, hin- und herschwingen läßt; auf diese Weise wird das Gefäß sammt der darin enthaltenen Flüssigkeit auf einer Temperatur erhalten, welche bedeutend tiefer ist, als die der umgebenden Luft.

Man kann den Versuch mit porösen Thonzellen machen, wie sie zu der Bunsen'schen Zinkkohlenkette gebraucht werden.

Aus ähnlichen Gründen haben die Pflanzen in der Regel eine Temperatur, welche niedriger ist als die der Luft, denn ihre äußeren Gewebe verrichten mehr oder weniger das Geschäft der Alcarazzas.

Die reichliche Ausdünstung, welche fortwährend an der Oberfläche lebender Geschöpfe vor sich geht, ist ebenfalls eine Ursache von Abkühlung. Wir werden später sehen, wenn von der thierischen Wärme die Rede ist, daß das Blut der warmblütigen Thiere eine feste Temperatur hat, welche ohne die größten Nachtheile für den Organismus weder steigen noch sinken und nicht um einige Grade variiren kann, ohne daß der Tod erfolgt. Beim Menschen, in welchem Klima er auch wohnen mag, beträgt diese Temperatur 37° C. In der heißen Zone, wo die Luft häufig 40 bis 50° C. warm ist, leben die Menschen ohne daß ihre Blutwärme die Temperatur der heißen Atmosphäre erreicht, weil sie durch die bedeutende Ausdünstung beständig abgekühlt werden.

Drittes Kapitel.

Specifische Wärme der Körper.

184 **Mittel die Wärmemengen zu vergleichen.** Wir nehmen als einen für sich selbst einleuchtenden Grundsatz an, daß stets dieselbe Wärmemenge nöthig seyn, um dieselbe Wirkung hervorzubringen. Wenn z. B. ein Kilogramm Eisen von 10° durch irgend eine Ursache bis zu einer Temperatur von 11° erwärmt wird, so ist dazu immer eine und dieselbe Wärmemenge nöthig, mag die Wärmenun von der Sonne oder von einem Heerde kommen, mag sie durch Berührung oder durch Strahlung dem Eisen mitgetheilt werden. Ebenso wird stets dieselbe Wärmemenge nöthig seyn, um 1 Kilogramm Eis von 0° zu schmelzen, und so ist denn auch stets eine bestimmte Quantität von Wärme nöthig, um 1 Kilogramm Wasser von 100° zu verdampfen. Die Wärmemengen müssen aber auch der Masse der Substanzen proportional seyn,

auf welche sie wirken, um einen bestimmten Effect hervorzubringen, d. h. um die Temperatur von 100 Kilogrammen Eisen von 10° auf 11° zu erhöhen; um 100 Kilogramme Eis zu schmelzen oder 100 Kilogramme Wasser zu verdampfen, hat man eine 100mal größere Wärmemenge nöthig, als wenn man dieselben Effecte nur an 1 Kilogramm dieser Substanzen hervorbringen wollte.

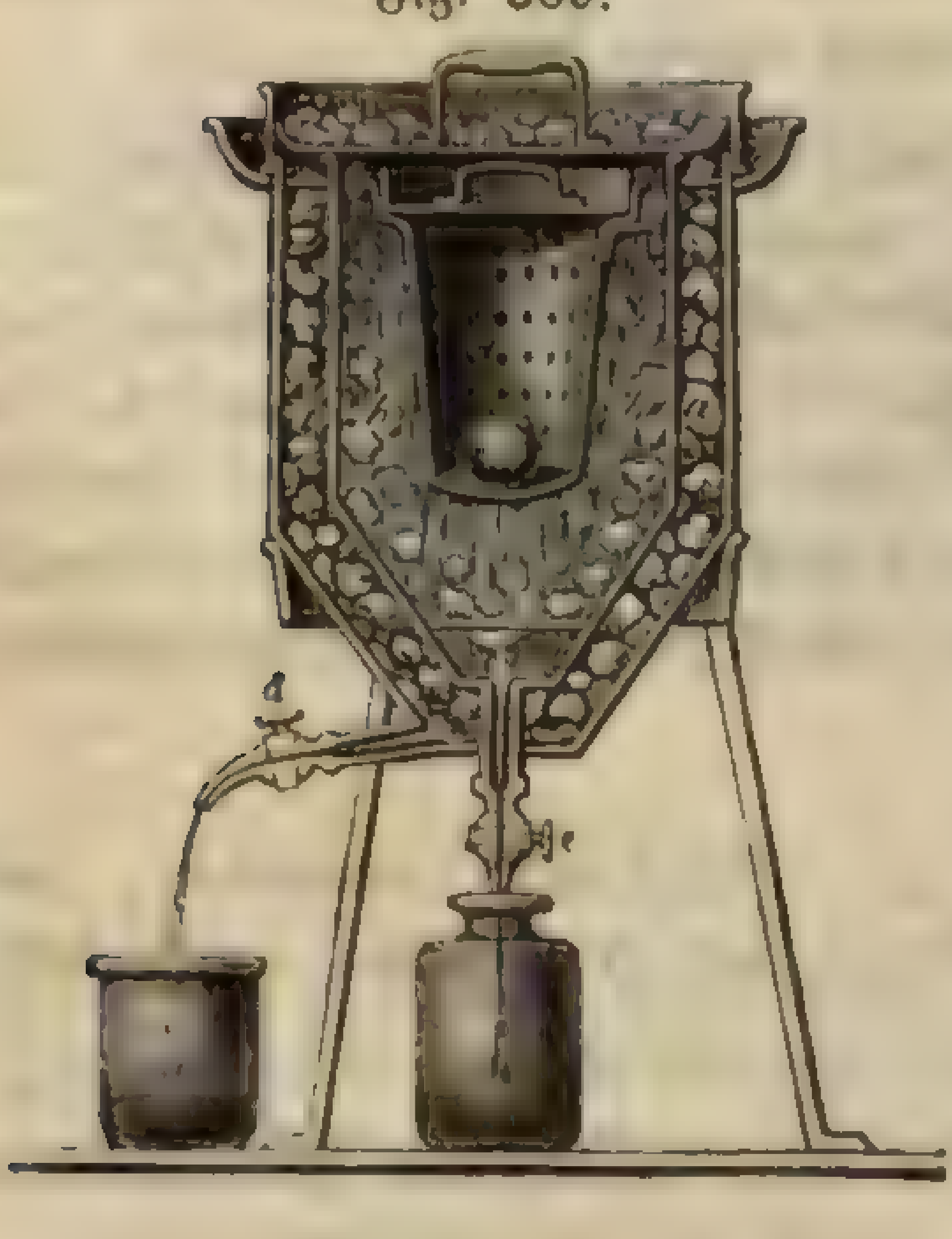
Eine Substanz hat eine größere oder geringere Wärmecapacität, je nachdem eine größere oder geringere Wärmemenge nöthig ist, um eine bestimmte Temperaturveränderung, etwa eine Temperaturerhöhung von 1°, hervorzubringen; die dazu nöthige Wärmemenge aber nennt man die specifische Wärme dieser Substanz. Zwei Körper haben gleiche Wärmecapacitäten, wenn sie bei gleichem Gewichte derselben Wärmemenge bedürfen, damit ihre Temperatur um 1° erhöht wird; dagegen ist die Wärmecapacität des einen Körpers 2mal, 3mal und 4mal so groß als die des anderen, wenn dazu eine 2-, 3-, 4mal größere Wärmemenge nöthig ist.

Ein und derselbe Körper kann eine veränderliche Wärmecapacität haben, was z. B. beim Platin der Fall ist, welches eine größere Wärmemenge bedarf, um von 100° auf 101° erwärmt zu werden, als wenn man seine Temperatur von 0° auf 1° erhöhen will. Die Wärmecapacität des Wassers dagegen ist constant, weshalb man sie auch zur Einheit gewählt hat.

Aus diesen Definitionen geht hervor, daß ein Körper, dessen Gewicht m und dessen Wärmecapacität c ist, bei einer Temperaturerhöhung oder einer Temperaturerniedrigung von t° eine Wärmemenge aufnimmt oder verliert, welche durch das Product mct ausgedrückt ist.

Um die specifische Wärme der Körper zu bestimmen, hat man drei verschiedene Methoden befolgt, nämlich die Methode des Eisschmelzens, die Mischungsmethode und die Erkaltungsmethode.

Fig. 509.



Calorimeter von Lavoisier und Laplace. 185
In Fig. 509 ist ein Durchschnitt dieses Instrumentes dargestellt, welches aus drei Gefäßen von Eisenblech besteht, von denen das größte das mittlere und dieses wieder das kleinste einhüllt. Der Zwischenraum zwischen dem ersten und zweiten Gefäße ist mit Eisstücken gefüllt; und das in diesem Raume durch Schmelzung des Eises gebildete Wasser fließt durch den Hahn d ab; der Zwischenraum zwischen dem zweiten und dritten Gefäße ist gleichfalls mit Eisstücken gefüllt, und das hier gebildete Wasser fließt durch den Hahn e ab.

Wenn man nun in den innersten

Raum den zu untersuchenden Körper bringt, so wird er bis auf 0 Grad erkalten; alle Wärme, welche er abgegeben hat, diente nur, um Eis zu schmelzen, welches durch den Hahn *e* abfloß, und wenn man die Masse und die anfängliche Temperatur des in den innersten Raum gebrachten Körpers kennt, wenn man ferner weiß, wie viel Eis durch die von ihm abgegebene Wärme geschmolzen wurde, so kann man leicht die specifische Wärme des Körpers berechnen.

Ein Beispiel mag dies erläutern: Gesetzt, man habe eine auf 100° erwärmte eiserne, 2 Kilogramme schwere Kugel in das Calorimeter gebracht, so würde die von ihr während ihres Erkaltens bis auf 0° abgegebene Wärme ungefähr 293 Milligramme Eis geschmolzen haben. Nun aber haben wir gesehen, daß die Wärme, welche 1 Kilogramm Wasser von 79 Graden abgiebt, um auf 0° zu erkalten, gerade hinreicht, um 1 Kilogramm Eis zu schmelzen; hätte man also 2 Kilogramme Wasser von 79° in den Apparat gebracht, so würden 2 Kilogramme Eis geschmolzen worden seyn, 2 Kilogramme Wasser von 100° würden also 2,53 Kilogramme Eis geschmolzen haben. Wir sehen also, daß, wenn gleiche Massen Wasser und Eisen von 100° auf 0° erkalten, aus beiden nicht gleiche Wärmemengen austreten, sondern daß bei dieser Erkaltung das Eisen viel weniger, und zwar ungefähr 0,11mal weniger Wärme abgiebt, als das Wasser. Um also gleiche Massen Eisen und Wasser von 0° auf 100° zu erwärmen, braucht man auch dem Eisen nur 0,11mal soviel Wärme zuzuführen, als dem Wasser; die specifische Wärme des Eisens ist also 0,11, wenn wir die des Wassers zur Einheit nehmen.

Das Eis in dem äußeren Mantel des Calorimeters dient nur dazu, die Wärme der äußeren Umgebung abzuhalten, so daß man überzeugt seyn kann, daß alles Wasser, welches durch den Hahn *e* abfließt, durch die Wärme gebildet worden ist, welche der in den innersten Theil des Calorimeters gebrachte Körper abgegeben hat, und daß in dem inneren Mantel des Apparates kein Eis durch die von außen eindringende Wärme geschmolzen werden kann.

Die Körper, deren specifische Wärme bestimmt werden soll, werden, bevor man sie in den Apparat bringt, dadurch bis zu einem bestimmten Temperaturgrade erwärmt, daß man sie in heißes Wasser oder heißes Oel taucht. Wenn sie so lange in der Flüssigkeit waren, daß man überzeugt seyn kann, daß sie dieselbe Temperatur haben, werden sie rasch in das Calorimeter gebracht. Wenn die Menge der anhängenden heißen Flüssigkeit nur etwas bedeutend ist, darf dieser Umstand bei der Berechnung der Resultate nicht unberücksichtigt bleiben.

Diese Methode läßt sich nicht für alle Substanzen anwenden, weil man sie nicht immer in hinreichender Menge und in passender Form erhalten kann.

Die specifische Wärme von Körpern, die man in passender Form erhalten

kann, läßt sich nach der Methode des Eisschmelzens auch in folgender Weise ermitteln; man macht in ein massives festes Eisstück eine Höhlung, in welche man den erwärmten Körper bringt, Fig. 510, und welche man dann mit einem Deckel von Eis bedeckt. Dies Verfahren kann ziemlich genaue Resultate geben, wenn die Temperatur des Eisstückes sowohl, als die der umgebenden Luft 0° ist.

Fig. 510.



Mischungsmethode. Diese Methode besteht im Wesentlichen darin, daß 186
man eine gewogene Menge des zu untersuchenden Körpers bis auf eine bestimmte Temperatur erwärmt und dann in ein Gefäß mit Wasser eintaucht, dessen Temperatur durch Abkühlung jenes Körpers erhöht wird; kennt man nun die Quantität des Kühlwassers, hat man ermittelt, welche Temperaturerhöhung es durch die Abkühlung des eingetauchten Körpers erleidet, so läßt sich daraus die specifische Wärme dieses Körpers berechnen.

Nehmen wir an, eine 200 Gramm schwere bis zu 100° erwärmte Platinkugel sey in eine 15° warme Wassermasse von 105 Gramm eingetaucht worden und habe sie durch ihre Abkühlung auf 20°, also um 5° erwärmt, so ist klar, daß die 200 Gramm Platin um 80° abgekühlt werden mußten, um 105 Gramm Wasser um 5° zu erwärmen. Dieselbe Wärmemenge, welche die Platinkugel abgegeben hat, würde aber demnach auch hingereicht haben, um die Temperatur von 525 Gramm Wasser um 1° zu erhöhen. Wäre die Platinkugel nur 1 Gramm schwer gewesen, so hätte die von ihr bei einer Temperaturerniedrigung von 80° abgegebene Wärmemenge auch nur $\frac{525}{200}$, also nur 2,625 Gramm Wasser um 1° oder 1 Gramm Wasser um 2,625° erwärmen können. Daraus geht aber hervor, daß dieselbe Wärmemenge, welche die Temperatur von 1 Gramm Platin um 80° erhöht, die Temperatur einer gleichen Wassermasse nur um 2,625° erhöhen kann, das Platin bedarf also nur $\frac{2,625}{80}$, also 0,0328mal weniger Wärme, um eine gleiche Temperaturerhöhung zu erfahren, wie eine gleiche Wassermasse; die specifische Wärme des Platins ist demnach 0,0328.

Bezeichnen wir mit m das Gewicht und mit t die Temperaturerhöhung des Kühlwassers (in dem eben berechneten Beispiele 105 Gramm und 5°), mit m' und t' das Gewicht und die Temperaturerniedriegung des abgekühlten Körpers (in unserm Beispiel 200 Gramm Platin und 80°), so ergiebt sich aus der eben für einen concreten Fall durchgeführten Betrachtungsweise für die Berechnung der specifischen Wärme c des abgekühlten Körpers folgende Formel:

$$c = \frac{m \cdot t}{m' t'},$$

das heißt in Worten, man findet die specifische Wärme des abgekühlten Körpers, wenn man sein Gewicht mit seiner Temperaturerniedrigung multiplicirt und mit diesem Producte in das Product dividirt, welches man erhält,

wenn man das Gewicht des Kühlwassers mit seiner Temperaturerhöhung multiplicirt.

Ist die specifische Wärme eines erhitzten Körpers bekannt, so kann man nach dieser Formel, wie Pouillet gezeigt hat, aus der Temperaturerhöhung, welche das Kühlwasser beim Ablöschen desselben erleidet, die Temperatur berechnen, welche er hatte, denn nach dieser Formel ist

$$t' = \frac{m\,t}{m'\,c}.$$

Nehmen wir an, man hätte eine 200 Gramm schwere Platinkugel in dem Feuer eines Ofens erhitzt, sie dann in einer Wassermasse von 1000 Gramm abgelöscht, und dadurch wäre die Temperatur des Wassers von 13° auf 20°, also um 7° erhöht worden, so haben wir $m = 1000$, $m' = 200$, $t = 7$; die specifische Wärme des Platins $c = 0{,}033$ gesetzt ergiebt sich

$$t' = \frac{1000 \cdot 7}{2000 \cdot 0{,}033} = \frac{7000}{6{,}6} = 1061.$$

Die Temperatur der heißen Platinkugel wäre demnach 1061° über 20°, also 1081°, gewesen. Dieses Resultat ist jedoch nur eine erste Annäherung, weil, wie Pouillet gezeigt hat, die specifische Wärme des Platins für höhere Temperaturen zunimmt. Aus einer Tabelle, die alsbald folgen wird, sieht man, daß für eine Temperatur von 1000°, und das ist ja, wie wir aus der ersten Näherungsrechnung sehen, die Temperatur, welche die Platinkugel ungefähr hatte, die specifische Wärme des Platins gleich 0,0373 ist. Diesen Werth haben wir also für c in obige Gleichung zu setzen, und dann ergiebt sich

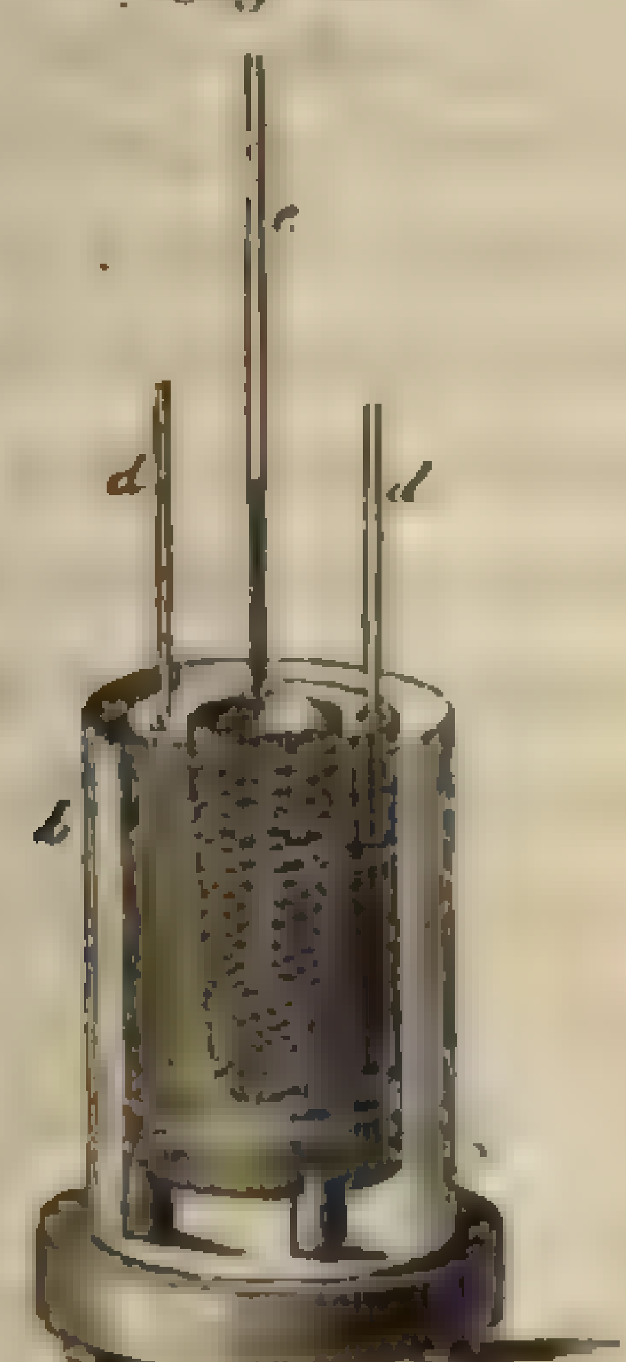
$$t' = \frac{1000 . 7}{200 \cdot 0{,}0373} = \frac{7000}{7{,}46} = 938.$$

Die Temperatur der Platinkugel war demnach $938 + 20 = 958°$. Auf diese Weise kann die Kenntniß der specifischen Wärme zur Bestimmung hoher Temperaturen dienen. Pouillet fand nach dieser Methode die Temperatur des schmelzenden Eisens gleich 1500 bis 1600°.

Wenn diese Methode brauchbare Resultate geben soll, so muß die Wassermasse so groß seyn, daß sie durch die Abkühlung des hineingebrachten Körpers nur um wenige Grade über die Temperatur der umgebenden Luftmasse erwärmt wird; dann aber muß man auch die Temperaturerhöhung des Gefäßes in Rechnung bringen. Wäre z. B. das Gefäß von Kupferblech und n Gramm schwer, so ist klar, daß zu einer bestimmten Temperaturerhöhung dieses Gefäßes eben so viel Wärme nöthig ist, als um die Temperatur einer $n \cdot 0{,}095$ Gramm schweren Wassermasse um eben so viel Grade zu erhöhen, weil die specifische Wärme des Kupfers 0,095 von der des Wassers ist. Man kann allgemein sagen, die Temperaturerhöhung eines n Gramm schweren Gefäßes erfordert eben so viel Wärme, wie eine gleiche Temperaturerhöhung einer $n \cdot c$ Gramm schweren Wassermasse, wenn c die specifische Wärme der Gefäß-Substanz bezeichnet.

Die Fig. 511 stellt den Apparat dar, welchen **Pouillet** zur Bestimmung der specifischen Wärme des Platins anwandte; *a* ist ein Gefäß von dünnem Kupferblech, welches auf einer Holzplatte steht, die durch drei Korkstücke getragen wird; *b* ist ein ähnliches Gefäß, welches das erstere umgiebt und welches Luftströmungen und zufällige Temperaturveränderungen von demselben abhält. Der Deckel des inneren Gefäßes hat in der Mitte ein großes Loch und trägt ein Körbchen von dünnem Kupferdraht, in welches der abzukühlende Körper hineingeworfen wird. Die Temperaturerhöhung des Wassers wird an dem Thermometer *e* abgelesen. Am unteren Ende der Stäbchen *d* ist eine ringförmige dünne Scheibe befestigt, welche auf und nieder bewegt wird, um die Wärme im Wasser möglichst gleichförmig zu vertheilen und die Abkühlung des eingebrachten Körpers möglichst zu beschleunigen; in dieser Scheibe muß natürlich außer der großen Oeffnung in der Mitte noch ein kleines Loch gemacht seyn, durch welches das Thermometer hindurchgeht. Wenn der heiße Körper in das Wasser hineingeworfen worden ist, so ist er schon nach 30 bis 40 Secunden gänzlich abgekühlt, denn in dieser Zeit hat das Thermometer *e* das Maximum seiner Temperaturerhöhung erreicht.

Fig. 511.



Man muß mehrere solcher Apparate von verschiedener Größe haben, damit man stets einen solchen wählen kann, in welchem die Temperaturerhöhung des Kühlwassers höchstens 4 bis 5⁰ beträgt. Je größer die Masse des abzulöschenden Körpers und je höher seine Temperatur ist, desto größer muß natürlich die Masse des Kühlwassers sein.

Die neuesten und genauesten Versuche über die specifische Wärme hat **Regnault**, und zwar nach der Methode der Mischung, angestellt. Er erwärmte die zu untersuchenden Körper in einem ringsum von den Dämpfen des kochenden Wassers umgebenen Raume und hatte die Einrichtung getroffen, daß sie aus diesem Raume unmittelbar in das Kühlwasser herabgelassen werden konnten. Für solche Körper, die im Wasser löslich sind, wandte **Regnault** statt desselben Terpentinöl als Abkühlungsflüssigkeit an, nachdem er zuvor die specifische Wärme des Terpentinöls bestimmt hatte.

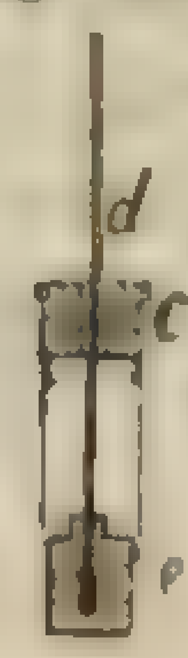
Methode des Erkaltens. Wenn ein erwärmter Körper in einen Raum 187
gebracht wird, in dem er nur durch Wärmestrahlung erkalten kann, so wird er unter übrigens gleichen Umständen um so langsamer erkalten, je größer seine specifische Wärme ist. Darauf gründete zuerst **Mayer** ein Verfahren, um die specifische Wärme der Körper zu ermitteln; später haben **Dulong** und **Petit** nach dieser Methode die specifische Wärme einer Reihe von Körpern mit großer Sorgfalt bestimmt.

Der Apparat, den sie anwandten, ist Fig. 512 dargestellt. Er besteht aus einem bleiernen Behälter a, welcher luftleer gemacht wird. In der Mitte des Deckels befindet sich eine metallene Hülse c, in welche ein Thermometer d eingekittet ist, dessen cylindrisches Reservoir sich in der Mitte eines kleinen silbernen Gefäßes e befindet, wie man dies deutlicher in Fig. 513 sieht. Dies silberne Gefäß ist an Fäden aufgehängt und enthält die zum Versuch bestimmte Substanz. Wenn dieser Körper ein fester ist, so wird er gepulvert und das Pulver fest in das silberne Gefäß hineingedrückt, so daß das Reservoir des Thermometers ganz von dem Pulver umgeben und das Silbergefäß ganz ausgefüllt ist. Das Silbergefäß wird nun mit der darin enthaltenen Substanz auf 15 bis 20° erwärmt und in das bleierne Gefäß a hineingebracht, welches selbst in ein Wasserbad von constanter Temperatur eingetaucht ist. Nun wird das Gefäß a luftleer gemacht, und man beobachtet, wie viel Zeit nöthig ist, damit das Thermometer von einer Temperatur, welche die Temperatur des Wasserbades um 10° übersteigt, um 5° fällt.

Fig. 512.



Fig. 513.



Wenn nun die silberne Hülle in gleichen Zeiten gleich viel Wärme ausstrahlt, so ist offenbar der Wärmeverlust, welchen die ganze Masse während der Temperaturerniedrigung von 5° erleidet, der Zeit proportional, welche zu dieser Erkaltung nöthig ist.

Gesetzt nun, für irgend eine Substanz sey diese Zeit gleich z, für eine andere sey sie z', so verhalten sich offenbar die während einer Temperaturerniedrigung von 5° abgegebenen Wärmemengen wie z zu z'; wenn aber m und m', c und c' die Gewichte und Wärmecapacitäten der beiden Körper sind, so sind die Wärmemengen, welche sie während einer Temperaturerniedrigung von 5° abgeben, $5mc$ und $5m'c'$, man hat also

$$\frac{mc}{m'c'} = \frac{z}{z'},$$

und danach läßt sich das Verhältniß der Wärmecapacitäten c und c' berechnen; doch muß man, wenn die Rechnung genaue Resultate geben soll, auch noch die von der Silberhülle selbst und dem Thermometer abgegebene Wärme in Rechnung bringen.

Regnault hat gezeigt, daß diese Methode keine ganz zuverlässigen Resultate geben kann, weil sie Vieles voraussetzt, was nicht bewiesen ist; sie setzt nämlich voraus, daß das Erkalten durch alle Partien der Substanz gleichmäßig vor sich geht und daß alle Substanzen ihre Wärme mit gleicher Leichtigkeit an die Silberhülle abgeben.

Resultate der Versuche über die specifische Wärme. Die Bestimmung der specifischen Wärme erhielt durch die Arbeiten von Dulong und Petit eine große Wichtigkeit für die Chemie, indem sie fanden, daß das Product, welches man erhält, wenn man die specifische Wärme eines Elements mit seinem Atomgewichte multiplicirt, stets denselben Werth habe. So fanden sie z. B. die specifische Wärme des Eisens gleich 0,1100; das Atomgewicht dieses Metalls ist aber 339,2, und das Product dieser beiden Größen ist gleich 37,31. Multiplicirt man die specifische Wärme des Kupfers 0,0949 mit seinem Atomgewichte 395,7, so erhält man das Product 37,55, einen Werth, welcher mit dem für das Eisen gefundenen fast vollkommen übereinstimmt. Ebenso fand sich, daß dieses Product für alle metallischen Elemente fast genau denselben Werth habe, es schien also das Gesetz begründet zu seyn, daß die specifische Wärme der metallischen Elemente ihrem Atomgewichte umgekehrt proportional sey. 188

Dadurch war nun ein Mittel mehr gegeben, das Atomgewicht eines Körpers kennen zu lernen und die Werthe der auf anderem Wege gefundenen Atomgewichte zu controliren. Die Atomgewichte der Elemente waren zu der Zeit, wo Dulong und Petit diese Arbeiten ausführten, noch nicht so fest bestimmt, als jetzt; oft hatte man für denselben Körper unter mehreren Atomgewichten zu wählen, und Dulong und Petit wählten natürlich das mit ihrem Gesetze am besten harmonirende.

Später wurden die Atomgewichte auf anderem Wege genauer bestimmt, aber das Dulong'sche Gesetz stellte sich dadurch nicht noch evidenter heraus, im Gegentheil ergaben sich Abweichungen, welche dem Gesetze gerade zu widersprechen schienen. So erhält man z. B. als Product der specifischen Wärme des Kobalts, wie sie von Dulong und Petit bestimmt worden war, nämlich 0,1498, und des von Berzelius bestimmten Atomgewichts dieses Metalls, nämlich 369, das Product 55,28.

Dieser Umstand war es besonders, welcher Regnault veranlaßte, die specifische Wärme der Elemente noch einmal genau zu untersuchen. Vorerst war eine Ausmittelung der specifischen Wärme derjenigen Substanzen nöthig, welche zur Construction der Apparate dienten. Regnault fand

die specifische Wärme des Messings 0,09391,
» » » Glases 0,19768,
» » » Terpentinöls 0,42593,
» » » Quecksilbers . . . . . 0,03332.

Die folgende Tabelle enthält die Endresultate seiner Versuche über die specifische Wärme fester Elemente, die in chemisch reinem Zustande untersucht wurden, neben denen von Dulong und Petit.

Name der Substanz.	Gefundene specif. Wärme.	Specif. Wärme nach Dulong u. Petit.	Atomgewicht nach Berzelius.	Von Regnault angenommenes Atomgewicht.	Product aus der specif. Wärme in das letztere.
Eisen	0,11379	0,1100	339,21	339,21	38,597
Zink	0,09555	0,0927	403,23	403,23	38,526
Kupfer	0,09515	0,0949	395,70	395,70	37,849
Kadmium	0,05669		696,77	696,77	39,502
Silber	0,05701	0,0557	1351,6	675,80	38,527
Arsenik	0,08140	0,081 A	470,04	470,04	38,261
Blei	0,03140	0,0293	1294,5	1294,5	40,647
Wismuth	0,03084	0,0288	886,92	1330,4	41,028
Antimon	0,05077	0,0507	806,45	806,45	40,941
Zinn	0,05623	0,0514	735,29	735,29	41,345
Nickel	0,10863	0,1035	369,68	369,68	40,160
Kobalt	0,10696	0,1498	368,99	368,99	39,468
Platin	0,03243	0,0314	1233,5	1233,5	39,993
Palladium	0,05927		665,00	665,90	39,468
Gold	0,03244	0,0298	1243,0	1243,0	40,328
Schwefel	0,20259	0,1880	201,17	201,17	40,754
Selen	0,08370		494,58	494,58	41,403
Tellur	0,05155	0,0912	801,76	801,76	41,549
Jod	0,05412	0,089 A	789,75	798,75	42,703

Die in der dritten Columne mit A bezeichneten Zahlen sind von Avogadro bestimmt worden.

Diese Versuche Regnault's entfernen nun wieder die Zweifel über die Richtigkeit des Dulong'schen Gesetzes. Um dieses Gesetz mit völliger Schärfe zu beweisen, müßten die Zahlen der letzten Columne unter sich vollkommen gleich seyn, was nicht der Fall ist; diese Zahlen schwanken zwischen 38 und 42, eine Differenz, welche für die Beobachtungsfehler bei weitem zu groß ist. Bedenkt man jedoch, daß die Atomgewichte von 200 bis gegen 1400 steigen, während die in Rede stehenden Producte innerhalb der Gränze 38 bis 42 bleiben, so muß man ohne Zweifel das Dulong'sche Gesetz für ein der Wahrheit sehr nahe kommendes halten.

Regnault fand sich veranlaßt, statt der Berzelius'schen Atomgewichte in einigen Fällen andere anzunehmen; so nimmt er z. B. das Atomgewicht des Silbers um die Hälfte kleiner, was er auch durch den Isomorphismus des

Schwefelsilbers mit dem Schwefelkupfer für gerechtfertigt hält. Für Wismuth nimmt er die früher gebräuchliche Atomzahl 1330 statt der jetzt angenommenen 887 an, wofür auch das ähnliche Verhalten einiger Wismuthverbindungen mit den analogen Antimonverbindungen spricht.

Die specifische Wärme eines und desselben Körpers kann sich merklich ändern, wenn seine Dichtigkeit eine Veränderung erleidet; so wird z. B. die specifische Wärme des Kupfers merklich kleiner, wenn durch Harthämmern seine Dichtigkeit zunimmt; die specifische Wärme des schmiedbaren Kupfers ist, nach Regnault, 0,095, die des gehämmerten Kupfers 0,093.

Die specifische Wärme des Kohlenstoffs ändert sich bedeutend mit dem Dichtigkeitszustande. Regnault fand für Holzkohle 0,2415, für Steinkohle 0,2009 und für Diamant 0,1469; die specifische Wärme ist also um so geringer, je größer die Dichtigkeit ist.

Daß die specifische Wärme der Körper für höhere Temperaturen zunimmt, wie schon oben angeführt wurde, ersieht man aus folgenden von Dulong und Petit gefundenen Werthen:

	Mittlere Capacität	
	zwischen 0 u. 100°	zwischen 0 u. 300°
Eisen	0,1098	0,1218
Quecksilber	0,0330	0,0350
Zink	0,0927	0,1015
Antimon	0,0507	0,0549
Silber	0,0557	0,0611
Kupfer	0,0949	0,1013
Platin	0,0335	0,0355
Glas	0,177	0,190

Nach Pouillet's Versuchen ist die mittlere specifische Wärme des Platins

zwischen 0° und 100°	0,03350
» 0 » 300	0,03434
» 0 » 500	0,03518
» 0 » 700	0,03602
» 0 » 1000	0,03728
» 0 » 1200	0,03818

Da die specifische Wärme eines und desselben Körpers veränderlich ist, so kann die specifische Wärme einer Substanz auch nur für einen bestimmten Zustand der Dichtigkeit und für eine bestimmte Temperatur dem Dulong'schen Gesetze genügen; wenn also die Erfahrung dieses Gesetz nicht in aller Strenge, sondern nur annähernd bestätigt, so ist höchst wahrscheinlich der Grund darin zu suchen.

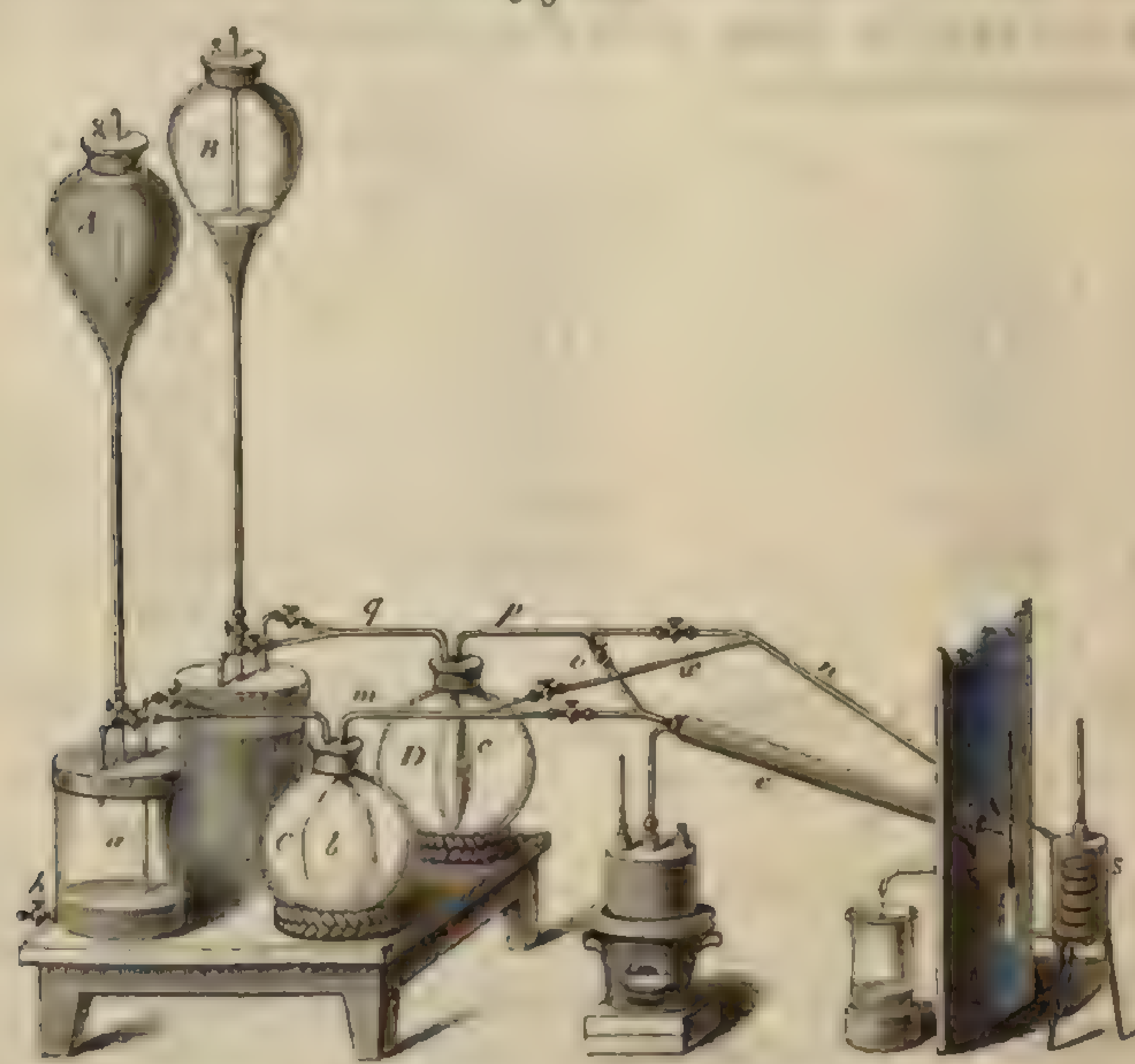
Die specifische Wärme zusammengesetzter Körper ist von Avogadro, Neumann und Regnault, und zwar von Letzterem am vollständigsten, untersucht worden. Er gelangte durch eine große Reihe von Versuchen zu dem Satze, daß bei allen zusammengesetzten Körpern von gleicher atomistischer und ähnlicher

chemischer Zusammensetzung die specifische Wärme im umgekehrten Verhältnisse der Atomgewichte stehe. So ist z. B. für Oxyde mit 1 Aeq. Sauerstoff das Product der specifischen Wärme und des Atomgewichts gleich 71,9. Für die entsprechenden Schwefelverbindungen ist dies Product 74,5; für Chlormetalle mit 1 Aeq. Chlor ist es 117; für die entsprechenden Bromide und Jodide 151 u. s. w.

189 **Specifische Wärme der Gase.** De la Roche und Berard haben über diesen Gegenstand eine schöne Arbeit ausgeführt, welche von der Akademie der Wissenschaften zu Paris im Jahre 1812 gekrönt wurde. Der Apparat, welchen sie zu ihren Versuchen anwandten, hatte folgende Einrichtung:

Durch den luftdicht schließenden Deckel eines mit Luft gefüllten Gefäßes *a*, Fig. 514, geht eine Röhre vertical in die Höhe und endigt oben in ein mit

Fig. 514.



Wasser gefülltes Gefäß. Das untere Ende dieser Röhre ist nach oben gekrümmt, und durch die Oeffnung kann das Wasser aus dem Gefäße *A* in das Gefäß *a* herabfließen. Das Gefäß *A* ist gleichfalls durch einen Deckel oben luftdicht verschlossen, durch diesen Deckel geht nun eine an beiden Enden offene Röhre *t* in das Wasser des Gefäßes *A* hinab, und in dem Maaße, als unten Wasser ausfließt, dringen durch das untere Ende *t* dieser Röhre Luftblasen in das Gefäß *A* ein; dadurch wird nun die Luft aus dem Gefäße *a* mit einer constanten Geschwindigkeit, wie sie einer Wassersäule von *t* bis zur unteren Oeffnung zukommt, ausgetrieben.

Aus dem Gefäße *a* gehen nun zwei Röhren, die sich zu einer verbinden, nach dem Ballon *C*; die eine dieser Röhren geht fast bis auf den Boden des Gefäßes *a* herab, und diese ist jetzt durch einen Hahn abgesperrt; durch die andere hingegen strömt die Luft aus dem oberen Theile des Gefäßes *a* nach dem Ballon *C*. In diesem Ballon hängt nun eine Blase *b*, welche mit dem zu untersuchenden Gase gefüllt ist; aus dieser Blase wird das Gas durch den Druck der comprimirten Luft in *C* durch die Röhre *m* in das Schlangenrohr des Calorimeters *s* getrieben, nachdem es zuvor bei *e* in einer Weise erwärmt worden ist, die sogleich näher beschrieben werden soll. Nachdem das Gas durch das Schlangenrohr des Calorimeters hindurchgegangen ist, wird es durch die Röhren *n* und *p* in die leere Blase *c* geleitet, die sich in dem Ballon *D* befindet. Kurz, durch den Druck der Wassersäule wird das Gas aus der Blase *b* auf einigen Umwegen in die Blase *c* hineingepreßt. Damit sich aber die Blase *c* allmälig mit Gas füllen und ausdehnen könne, muß die Luft aus dem Ballon *D* austreten können. In der That führt von *D* eine Röhre *q*, welche sich alsbald in zwei Arme theilt, nach dem mit Wasser gefüllten Gefäße *d*. Der eine dieser Arme führt zu dem oberen Theile des Gefäßes *d*, und dieser Arm ist für jetzt durch einen Hahn verschlossen, der andere Arm aber geht fast bis auf den Boden des Gefäßes *d*. Durch diesen Arm gelangt die aus *D* herausgepreßte Luft in das Gefäß *d*. In dem Maaße aber, als die Luft aus *D* nach *d* übergeht, fließt das Wasser aus dem Gefäße *d* durch einen Hahn ab, welcher dem Hahn *h* am Gefäße *a* entspricht.

Wenn auf diese Weise die Blase *b* entleert und *c* mit Gas gefüllt ist, so ist auch *a* mit Wasser und *d* mit Luft gefüllt; es werden alsdann alle Hähne geschlossen, die bis jetzt geöffnet waren, alle bis jetzt geschlossenen aber geöffnet; alsdann wird durch das aus *B* herabkommende Wasser die Luft in *d* und *D* comprimirt, das Gas wird aus der Blase *c* durch die Röhren *p* und *v* nach der Erhitzungsstelle *e* und von da nach dem Calorimeter getrieben, aus dem Schlangenrohre des Calorimeters aber gelangt das Gas durch die Röhren *n*, *w* und *m* in die Blase *b*; die Luft aus *C* wird nach *a* hinabgepreßt, und das Wasser aus *a* fließt durch den Hahn *h* ab. Wenn die Blase *b* wieder mit Gas gefüllt ist, werden die Hähne abermals verstellt u. s. w. Auf diese Weise kann man eine und dieselbe Gasmenge zu wiederholten Malen mit constantem Drucke durch das Calorimeter hindurchtreiben.

Bei *e* ist das Rohr, durch welches das Gas hindurchstreicht, von einem weiteren Rohre umgeben, welches stets mit den Dämpfen von kochendem Wasser gefüllt ist. Ein Thermometer zeigt die Temperatur an, mit welcher es in das Calorimeter eintritt, ein anderes Thermometer zeigt seine Temperatur beim Austritte aus demselben.

Selbst wenn kein Gas durch den Apparat hindurchströmt, wenn aber doch die Röhre bei *e* durch die Wasserdämpfe erwärmt ist, wird dem Calorimeter eben durch dieses Rohr schon Wärme zugeführt; die Temperaturerhöhung, welche auf diese Weise das Calorimeter erleidet, muß durch vorläufige Versuche ausgemittelt werden, damit man sie gehörig in Rechnung bringen kann.

Um zufällige Temperaturveränderungen von dem Calorimeter abzuhalten, war es durch einen Schirm von dem übrigen Apparate getrennt; ein empfindliches Thermometer zeigte in jedem Augenblicke die Temperatur des Wassers im Calorimeter an.

Wenn das warme Gas fortwährend durch das Calorimeter hindurchstreicht, so wird dieses allmälig erwärmt und nimmt endlich eine constante Temperatur an, wenn es in jedem Augenblicke so viel Wärme empfängt, als es an die Umgebung verliert.

Bei einem Drucke von 76 Centimetern und unter übrigens gleichen Umständen betrug der Ueberschuß der stationären Temperatur des Calorimeters über die Temperatur der Umgebung:

für atmosphärische Luft . .	15,734°
für Wasserstoffgas . . .	14,214
für Kohlensäure	19,800
für Sauerstoffgas . . .	15,365
für Stickstoffoxydgas . .	21,246
für ölbildendes Gas . . .	24,435
für Kohlenoxydgas . . .	16,270

Da nun in gleichen Zeiten gleiche Gasvolume durch den Apparat hindurchstreichen, so müssen offenbar die Werthe der specifischen Wärme der verschiedenen Gasarten für gleiche Volume den eben angegebenen Temperaturüberschüssen proportional seyn; bezeichnet man demnach die specifische Wärme der atmosphärischen Luft mit 1, so ergeben sich für gleiche Volume der anderen Gase aus den eben angeführten Zahlen folgende Werthe:

Wasserstoffgas	0,9033
Kohlensäuregas	1,2583
Sauerstoffgas	0,9765
Stickstoffoxydgas	1,3503
Oelbildendes Gas	1,5530
Kohlenoxydgas	1,0340

De la Roche und Berard haben die Richtigkeit dieser Resultate aber noch auf einem anderen Wege bestätigt. Wenn man der Reihe nach verschiedene Gase mit gleicher Temperatur und unter demselben Drucke durch das Calorimeter hindurchströmen läßt, so würden, wenn das Calorimeter gar keine Wärme an die Umgebung verlöre, die Wärmecapacitäten der Gase dem Volumen derselben proportional seyn, welches durch das Schlangenrohr hindurchströmen muß, um das Wasser stets um dieselbe Anzahl von Graden zu erwärmen. Da es aber nun unmöglich ist, die Erkaltung des Gefäßes zu verhindern, so wurde es zu Anfang des Versuchs unter die Temperatur der Umgebung erkaltet, und der Versuch beendigt, wenn die Temperatur des Calorimeters eben so hoch über der Temperatur der Umgebung stand, als sie anfangs geringer war; so nimmt denn der Apparat während der ersten Hälfte des Versuchs eben so viel Wärme aus

der Umgebung auf, als er während der zweiten Hälfte abgiebt; man kann Alles so betrachten, als ob gar keine Erkaltung stattfände. Auf diese Weise fanden sie Werthe für die Wärmecapacität der Gase, welche mit den oben angeführten sehr gut übereinstimmten.

Diese Zahlen gaben die specifische Wärme gleicher Gasvolume bei gleichem Drucke; um die specifische Wärme gleicher Gewichtsmengen zu finden, hat man diese Zahlen nur durch das specifische Gewicht der Gase zu dividiren.

Das Verhältniß der specifischen Wärme der Gase zur specifischen Wärme des Wassers ergiebt sich aus den Versuchen von de la Roche und Berard auf folgende Weise.

Bezeichnen wir mit s die constante Temperatur des Calorimeters, also auch die Temperatur, mit welcher das Gas aus dem Calorimeter austritt, mit t seine Temperatur beim Eintritt, so ist $t - s$ die Temperaturerniedrigung, welche das Gas beim Durchstreichen durch das Calorimeter erleidet. Wenn nun ferner m' die Masse des Gases, welches in einer Minute durchstreicht, und c die specifische Wärme desselben ist, so ist offenbar die in 1 Minute von dem Gase an das Calorimeter abgegebene Wärmemenge gleich $m' c (t - s)$.

Bezeichnen wir ferner mit m die corrigirte Masse des Calorimeters, d. h. das Gewicht des Wassers, welches darin enthalten und dessen specifische Wärme gleich 1 ist, sammt dem Gewichte des Gefäßes und des Thermometers, multiplicirt mit der specifischen Wärme der Substanzen, aus denen sie verfertigt sind; mit r die corrigirte Temperatur des Calorimeters, d. h. die Temperatur, bis zu welcher es steigen würde, wenn kein Gas durch die Röhre striche und diese Röhre nur durch Leitung von e her Wärme zuführte, so ist $mg\ (s - r)$ die Wärmemenge, welche das Calorimeter in jeder Minute verliert, wo g ein constanter Factor ist, welcher sich leicht bestimmen läßt, wenn man die Geschwindigkeit beobachtet, mit welcher das sich selbst überlassene Calorimeter erkaltet. So lange aber die Temperatur des Calorimeters constant bleibt, ist die Wärmemenge, die ihm zugeführt wird, stets derjenigen gleich, welche er verliert, man hat also

$$m' c\ (t - s) = mg\ (s - r),$$

und daraus läßt sich die Wärmecapacität c des Gases, verglichen mit der des Wassers, berechnen.

Auf diese Weise bestimmten die genannten Physiker die specifische Wärme der atmosphärischen Luft in Beziehung auf das Wasser; es war alsdann leicht, auch die specifische Wärme der anderen Gase auf Wasser zu reduciren.

Die folgende Tabelle enthält die Resultate der Versuche von de la Roche und Berard über die specifische Wärme der Gase bei gleichem Drucke.

Namen der Gase.	Capacität für gleiche Vol.	Cap. für gleiche Gewichte.	
		Luft = 1.	Wasser = 1.
Atmosphärische Luft .	1,000	1,000	0,267
Sauerstoff	0,976	0,885	0,236
Wasserstoff	0,903	12,340	3,294
Stickstoff	1,000	1,032	0,275
Kohlenoxyd	1,034	1,080	0,288
Stickstoffoxydulgas . .	1,350	0,888	0,237
Kohlensäure	1,258	0,828	0,221
Oelbildendes Gas . .	1,553	1,576	0,421
Wasserdampf . . .	1,960	3,136	0,847

190 **Wärmecapacität der Gase bei constantem Volumen.** Wir haben bisher die specifische Wärme der Gase bei constantem Drucke betrachtet, sie konnten sich bei ihrer Erwärmung frei ausdehnen. Es ist aber auch wichtig, die Wärmecapacität der Gase bei constantem Volumen zu kennen, d. h. zu wissen, welche Wärmemenge nöthig ist, um die Temperatur eines Gases zu erhöhen, wenn man seine Ausdehnung hindert, wenn also durch die Temperaturerhöhung seine Spannkraft vermehrt wird.

Die Idee, die Wärmecapacität der Gase bei constantem Volumen zu ermitteln und sie mit ihrer Wärmecapacität bei constantem Drucke zu vergleichen, rührt von Laplace her.

Nehmen wir an, eine Luftmasse sey durch eine Temperaturerhöhung von t^0 bei unverändertem Drucke ausgedehnt; wird nun diese Luftmasse auf ihr ursprüngliches Volumen zusammengepreßt, so erleidet sie eine abermalige Temperaturerhöhung von t' Graden, ohne daß neue Wärme zugeführt wird, dieselbe Wärmemenge also, welche im Stande ist, die Temperatur dieser Luftmasse um t Grad zu erhöhen, wenn sie sich bei unverändertem Drucke ausdehnen kann, würde eine Temperaturerhöhung von $t + t'$ Graden hervorbringen, wenn keine Ausdehnung stattfinden kann. Die specifische Wärme c bei constantem Drucke ist also größer als die specifische Wärme c' bei constantem Volumen, und zwar verhalten sich die Wärmecapacitäten c und c' zu einander wie $t + t'$ zu t, es ist also

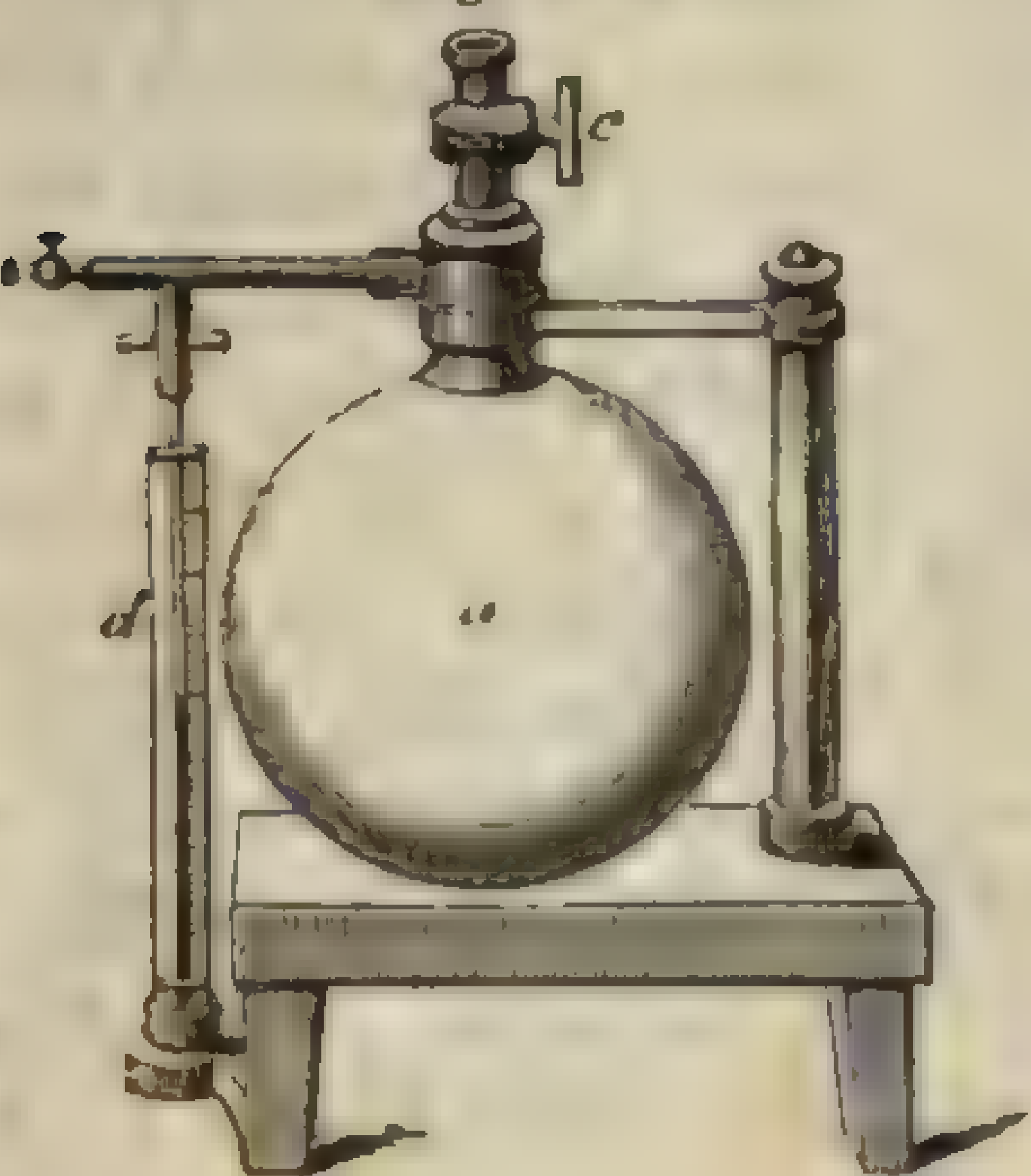
$$\frac{c}{c'} = \frac{t + t'}{t}.$$

Die Temperaturerhöhung, welche durch Compression der Luft hervorgebracht wird, läßt sich direct nicht mit Genauigkeit bestimmen, doch läßt sich der Werth

des Quotienten $\frac{c'}{c}$ auf indirectem Wege aus folgendem von Clement und Desormes angestellten Versuche ableiten.

Die Luft in einem 28,4 Liter fassenden Ballon a wurde etwas verdünnt, und der Grad der Verdünnung durch die Höhe einer im Manometerrohre d gehobenen Wassersäule gemessen; nehmen wir an, die Höhe dieser Wassersäule habe 188mm betragen. Nun wurde ein Hahn c geöffnet, der so weit war, daß längstens in $\frac{1}{2}$ Secunde das Gleichgewicht mit der äußeren Luft wieder hergestellt würde, und dann rasch wieder geschlossen. Durch das Eindringen der äußeren Luft war die verdünnt gewesene Luft im Inneren des Ballons zusammengedrückt und in Folge dessen auch etwas erwärmt worden; wenn man also den Apparat sich selbst überläßt, so wird die durch Compression der Luft frei gewordene Wärme sich allmälig verlieren, und in Folge dessen wird die Wassersäule in d von Neuem steigen. Als der Apparat bis auf die Temperatur der umgebenden Luft erkaltet war, betrug die Höhe der Wassersäule in d 49mm. Die Temperaturerhöhung t', welche durch die Compression hervorgebracht wird, verhält sich aber zu der Temperaturerhöhung $t + t'$, welche nöthig wäre, um die Luft im Ballon bei unverändertem Drucke durch Erwärmen so viel zu verdünnen, als es durch die Luftpumpe geschehen war, sehr nahe wie die Druckhöhen 49 und 188; wenn wir also $t' = 49$ und $t + t' = 188$ setzen, so ist $t = 139$, folglich

Fig. 515.



$$\frac{c}{c'} = \frac{188}{139} = 1,35.$$

Dieses Verfahren kann offenbar nur ein angenähert richtiges Resultat liefern, weil auch durch die Gefäßwände eine merkliche Wärmemenge weggenommen wird.

Durch Betrachtungen, die wir hier unmöglich weiter verfolgen können, hat Dulong aus der Fortpflanzungsgeschwindigkeit des Schalls in der Luft für diesen Quotienten den Werth 1,421 abgeleitet.

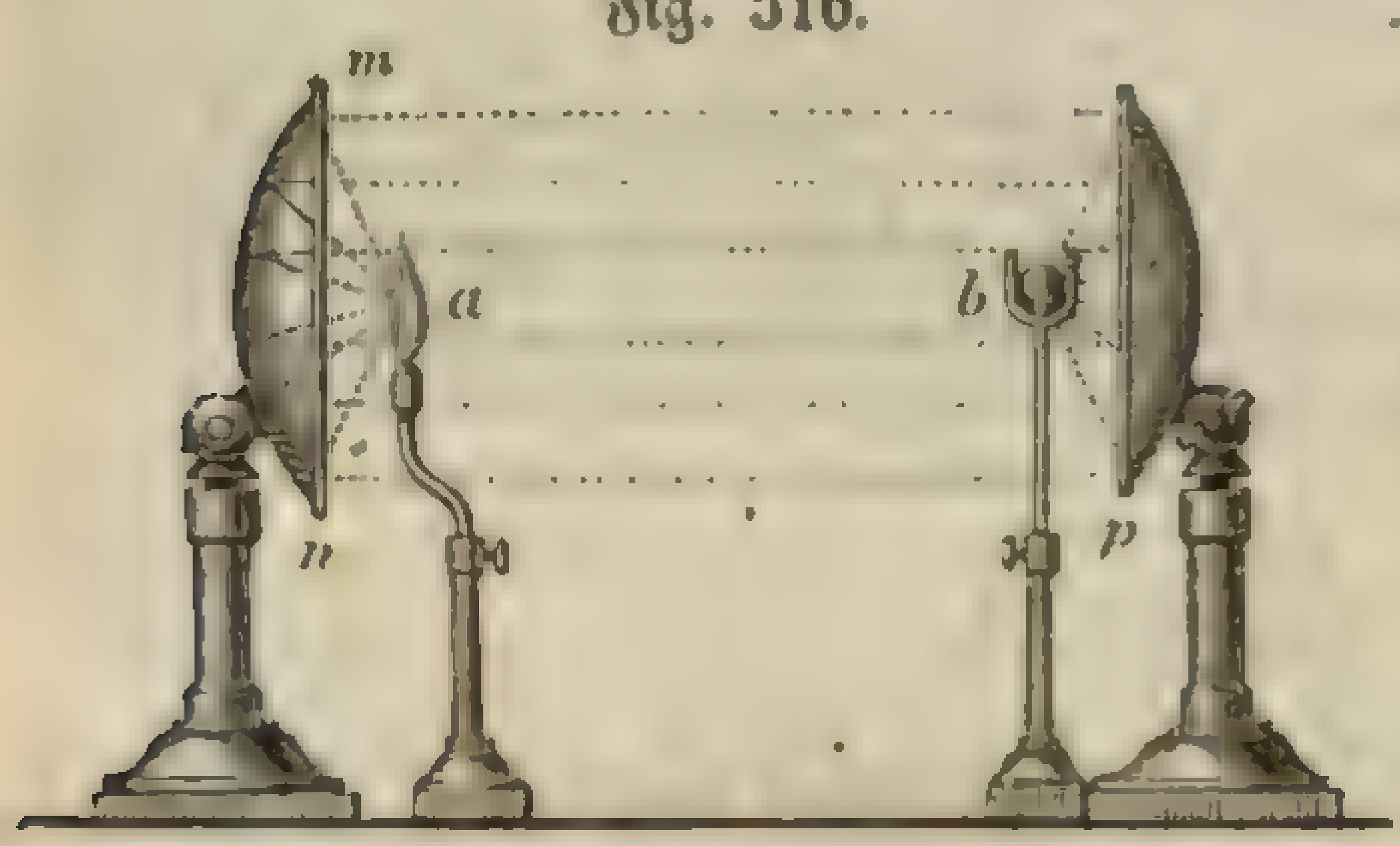
Viertes Kapitel.

Fortpflanzung der Wärme.

191 **Existenz der strahlenden Wärme.** Die strahlende Wärme durchdringt gewisse Körper in derselben Weise, wie das Licht durch die durchsichtigen Körper hindurchgeht; die Sonnenstrahlen z. B. treffen unsere Erde, nachdem sie die ganze Atmosphäre durchdrungen haben, sie erwärmen die Erdoberfläche, während die höheren Regionen der Luft kalt bleiben; die Wärmestrahlen gehen also größtentheils durch die Atmosphäre hindurch, ohne von ihr absorbirt zu werden. Wenn man sich dem Feuer eines Ofens nähert, so empfindet man eine brennende Hitze, und doch ist die Luft zwischen uns und dem Feuer nicht bis zu einem solchen Grade erwärmt, denn wenn man einen Schirm vorhält, verschwindet diese Hitze augenblicklich, was unmöglich wäre, wenn wirklich die ganze uns umgebende Luftmasse eine so hohe Temperatur hätte. Heiße Körper können also nach allen Seiten hin Wärme aussenden, welche durch die Luft hindurchgeht, wie die Lichtstrahlen durch durchsichtige Körper; man spricht deshalb von strahlender Wärme und von Wärmestrahlen, wie man von Lichtstrahlen spricht.

Wenn man zwei große sphärische oder parabolische Hohlspiegel von polirtem Messingblech, 5 bis 6 Meter von einander entfernt, so aufstellt, daß die Axen beider Spiegel in eine Linie zusammenfallen, wenn man alsdann in den Brennpunkt des einen Spiegels ein Stück Zunder, in den Brennpunkt des anderen aber eine fast weißglühende Eisenkugel oder glühende Kohlen bringt, deren Verbrennung man durch einen Blasebalg lebhaft unterhält, so wird sich der Zunder alsbald entzünden, als ob er mit dem Feuer in Berührung wäre. Dieser Versuch zeigt, daß der glühende Körper Wärmestrahlen aussendet; denn es ist klar, daß der Zunder nicht etwa dadurch angezündet würde, daß die zwischenliegenden Luftschichten allmälig so stark erhitzt worden wären. Bringt man den Zunder aus dem Brennpunkte weg, so wird er nicht mehr entzündet, wenn man ihn auch dem glühenden Körper weit näher bringt.

Fig. 516.



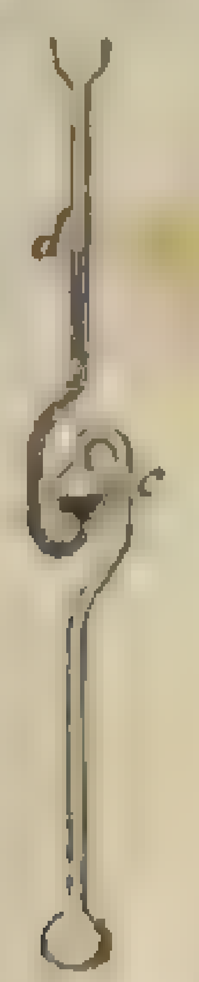
Bringt man an die Stelle der glühenden Kugel eine Kugel von 300° und an die Stelle des Zunders ein gewöhnliches Thermometer, so wird das Thermometer rasch steigen; also auch die Kugel von 300° sendet Wärmestrahlen aus.

Wenn man die 300° heiße Kugel mit einem Gefäße voll kochenden Wassers oder mit Wasser von 90°, 80° oder 70° vertauscht, so beobachtet man vielleicht

gar keine Temperaturerhöhung mehr am Thermometer; dies beweist aber noch nicht, daß die Wände des Gefäßes bei dieser Temperatur keine Wärme mehr ausstrahlen, sondern nur, daß hier das gewöhnliche Thermometer nicht empfindlich genug ist. Man muß deshalb empfindlichere Instrumente zu Hülfe nehmen, etwa ein Luftthermometer, Rumford's oder Leslie's Differentialthermometer oder Melloni's Thermomultiplicator.

Ein Luftthermometer kann man zu diesem Zwecke etwa so construiren, wie Fig. 517 zeigt. Eine Kugel von 3 bis 4 Centimeter Durchmesser ist an dem Ende einer Röhre angeblasen, deren Durchmesser ungefähr 1^{mm} beträgt; diese Röhre ist gekrümmt, wie man in der Figur sieht, und hat in der Mitte eine zweite Kugel, an ihrem anderen Ende einen Trichter, damit die von c bis d stehende Flüssigkeit weder in die untere Kugel zurücksteigen, noch oben auslaufen kann. Wenn die Dimensionen des Instrumentes bekannt sind, so kann man wohl ungefähr seine Empfindlichkeit berechnen, graduiren kann man es jedoch nicht, weil ja die Flüssigkeit dem atmosphärischen Drucke ausgesetzt bleibt und weil aus der unteren Kugel die Luft bald aus- und bald eintritt.

Fig. 517.



Rumford's Differentialthermometer, Fig. 518, besteht aus zwei Glaskugeln, a und b, welche durch eine gebogene Glasröhre, deren horizontaler Theil 5 bis 6 Decimeter lang ist, verbunden sind. In dieser Röhre befindet sich ein Index von Alkohol oder Schwefelsäure, auf welchen von beiden Seiten die Luft der Kugel drückt; er wird also nur dann an einer bestimmten Stelle stehen bleiben, wenn der Druck von beiden Seiten gleich ist. Die Stelle, welche der Index einnimmt, wenn die Temperatur beider Kugeln vollkommen gleich ist, ist der Nullpunkt der Theilung. Wird nun die eine Kugel mehr erwärmt als die andere, so wird der Index gegen die kältere Kugel hingetrieben, und seine Entfernung von dem Nullpunkte ist der Temperaturdifferenz der beiden Kugeln proportional.

Fig. 518.

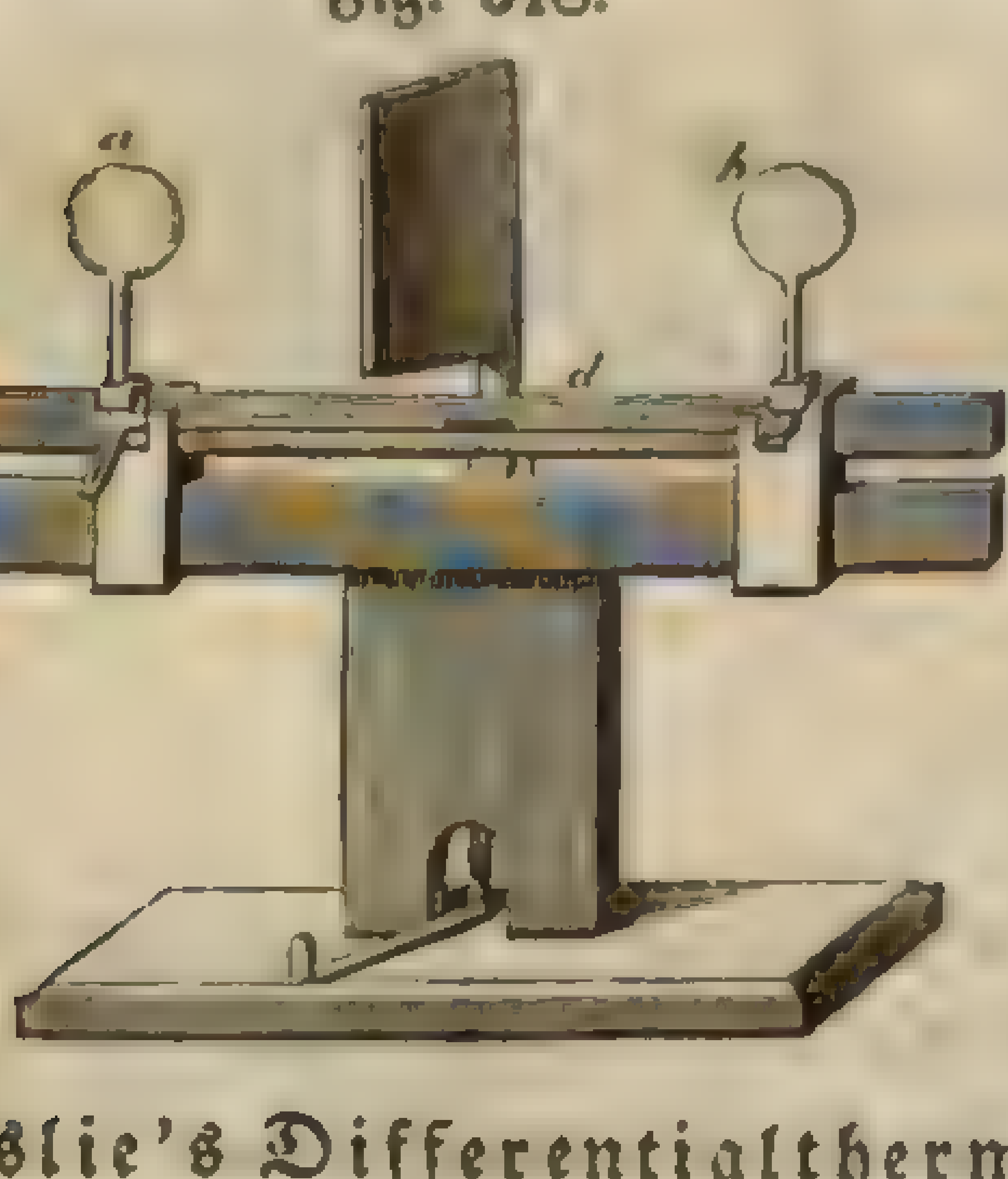


Fig. 519.



Leslie's Differentialthermometer, Fig. 519, ist auf ähnliche Weise construirt, nur sind seine Kugeln in der Regel etwas kleiner, die verticalen Arme der sie verbindenden Röhre sind länger und stehen einander näher.

Melloni's Thermomultiplicator besteht aus einer thermoelektrischen Säule, Fig. 520, wie sie schon früher (S. 409) beschrieben wurde, und aus einem sehr empfindlichen Multiplicator. Die Säule ist sorgfältig an beiden Enden mit Ruß geschwärzt und mit ihrer Fassung bei *p*, Fig. 521, auf ein Stativ gebracht; die Hülsen *a* und *b* dienen dazu, die Luftströmungen und die Seitenstrahlungen von der Säule abzuhalten; da die Hülse *b* conisch ist, so dient sie auch, um von dieser Seite her die Wärmestrahlen mehr zu concentriren, wenn es nöthig ist. Der zu dieser Thermosäule gehörige Multiplicator hat natürlich eine astatische Nadel. Der nicht gar zu dünne Kupferdraht, welcher eine Gesammtlänge von 7 bis 8 Metern hat, bildet ungefähr 40 Windungen.

Fig. 520.

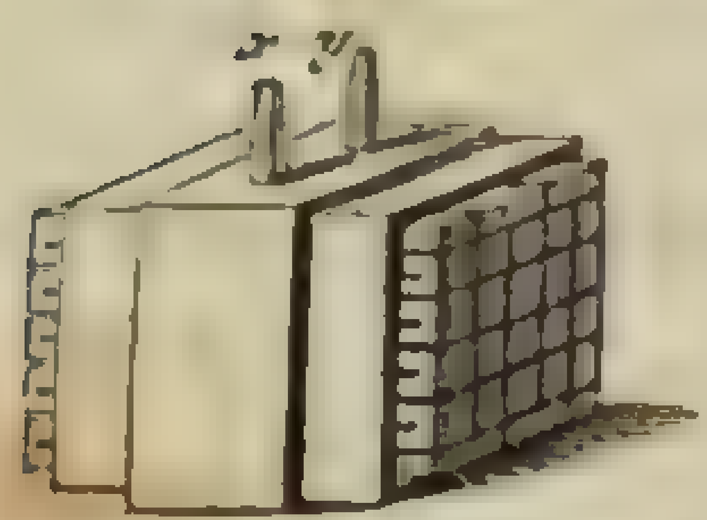
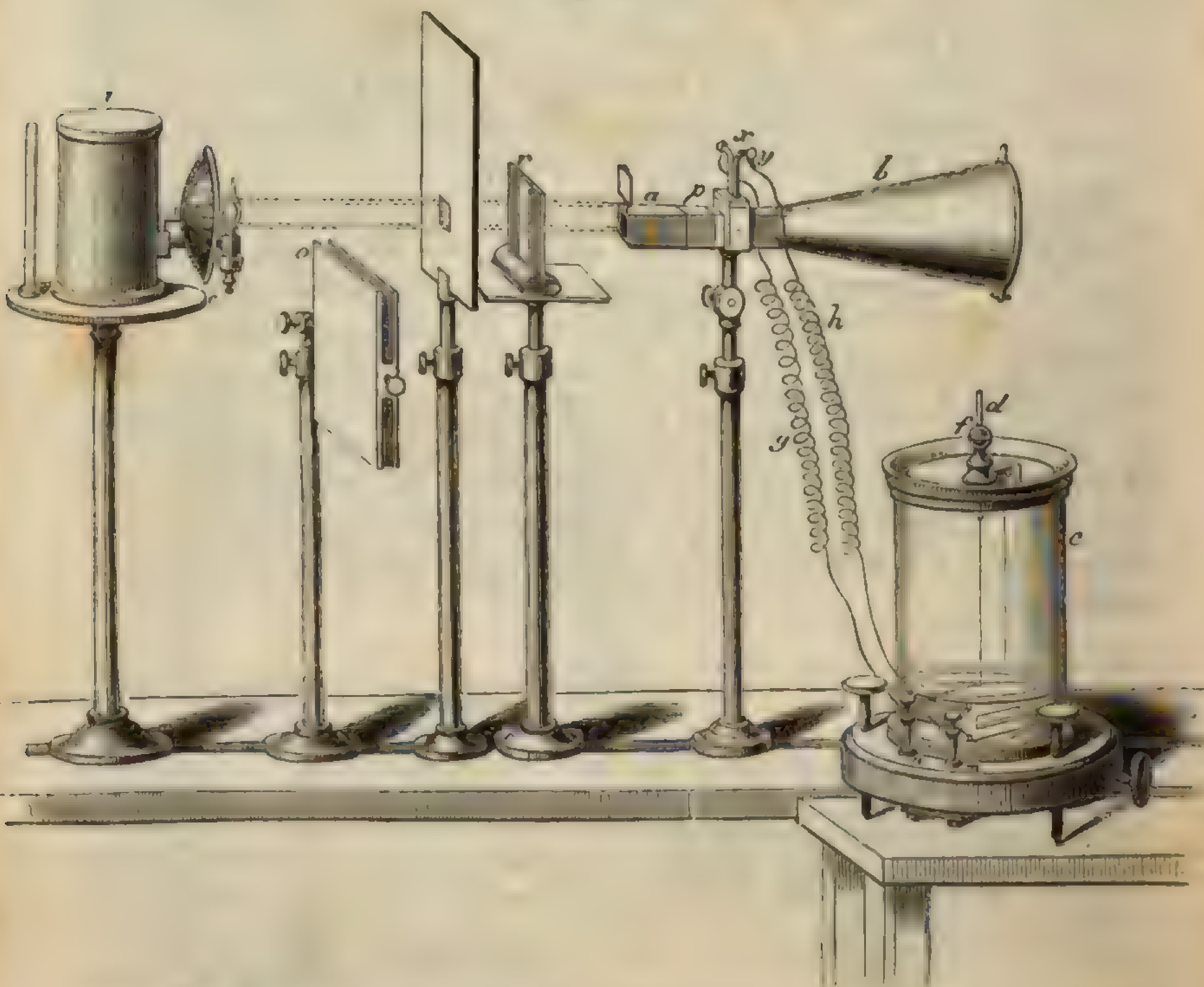


Fig. 521.



Um die Verbindung zwischen der thermoelektrischen Säule und dem Multiplicator herzustellen, dienen die leicht ausdehnbaren Drahtspiralen *g* und *h*, welche bei *x* und *y* mit den beiden Enden der thermoelektrischen Säule, bei *m* und *n* mit den Enden des Multiplicatordrahtes in leitender Verbindung stehen. Die geringste Temperaturdifferenz zwischen den beiden geschwärzten Enden der

Säule bewirkt nun schon eine Ablenkung der Nadel, die man auf dem getheilten Kreise ablesen kann.

Man muß hier wohl den anfänglichen Ausschlag von dem eigentlichen Ausschlagswinkel, d. h. von dem Winkel unterscheiden, welchen die Nadel mit dem magnetischen Meridian macht, wenn sie in ihrer neuen Gleichgewichtslage zur Ruhe gekommen ist. Wenn die Nadel durch die Einwirkung des Stromes aus dem magnetischen Meridiane herausgetrieben wird, so kommt sie in ihrer neuen Gleichgewichtslage mit einer bestimmten Geschwindigkeit an, welche sie noch weiter forttreibt; auf dem Rückwege geht die Nadel abermals über ihre Gleichgewichtslage hinaus, und so kommt sie erst nach einer Reihe von Schwingungen, welche immer kleiner werden, zur Ruhe.

Um nicht immer warten zu müssen, bis die Nadel zur Ruhe kommt, hat Melloni durch Versuche das Verhältniß zwischen dem ersten und dem definitiven Ausschlage zu ermitteln gesucht, d. h. er bestimmte durch Versuche, wie groß der definitive Ausschlag ist, welcher einem jeden anfänglichen Ausschlage entspricht. Eine solche Beziehung, welche natürlich für jeden Apparat besonders ermittelt werden muß, bietet den großen Vortheil, daß ein jeder Versuch nur 10 bis 12 Secunden dauert, während er mehrere Minuten dauern würde, wenn man warten müßte, bis die Nadel zur Ruhe gekommen ist.

Die Beziehung, welche zwischen der Ablenkung der Nadel und der Temperaturdifferenz der Löthstellen der Säule stattfindet, läßt sich zwar nicht auf eine absolute, aber doch auf eine relative Weise ermitteln. Nachdem Melloni gezeigt hatte, daß die Stromstärke einer Säule von Wismuth und Antimon der Temperaturdifferenz der Löthstellen proportional ist, kam es darauf an, zu ermitteln, in welchem Verhältnisse die Ablenkung der Nadel zur Stromstärke steht. Zu diesem Zwecke brachte Melloni auf jeder Seite der Säule eine constante Wärmequelle, etwa eine Locatelli'sche Lampe, in solcher Entfernung an, daß die eine, für sich allein wirkend, eine Ablenkung von etwa 40° nach der rechten, die andere aber für sich allein eine Ablenkung von 35° nach der linken Seite bewirkte; läßt man nun beide Wärmequellen gleichzeitig wirken, so erhält man eine Ablenkung von 15° nach der rechten Seite. Eine Ablenkung von 5° zwischen 35 und 40° entspricht also einer Ablenkung von 15°, von 0 an gerechnet. Man begreift nun, wie man durch Abänderung dieser Versuche eine Tabelle entwerfen kann, deren erste Columne die beobachteten Ablenkungen, die zweite aber die entsprechende Anzahl von Graden enthält, welche man erhalten würde, wenn die Ablenkung stets der Stromstärke proportional wäre, wenn also die Wirkung des Stromes auf die Nadel nicht um so schwächer wäre, je mehr sie abgelenkt ist. Für den Apparat, mit welchem Melloni seine Versuche anstellte, waren die Zahlen in beiden Columnen bis 20° ganz gleich, d. h. bis 20° war die Ablenkung der Nadel der Stromstärke proportional; den beobachteten Ablenkungen 25, 30, 35, 40 und 45° entsprachen aber die Werthe 27, 35, 47, 62 und 83° der zweiten Columne. Ein Strom also, welcher eine Ablenkung von 40° bewirkt, ist 62mal stärker als ein anderer, welcher nur eine Ablenkung von 1° hervorbringt. Melloni

hat jedoch seine Versuche so eingerichtet, daß die Ablenkungen stets kleiner als 30° waren.

Kehren wir nun wieder zu unseren Versuchen zurück; wenn man in den Brennpunkt des einen Spiegels einen der eben beschriebenen Apparate, in den Brennpunkt des anderen aber irgend einen Körper von 1 bis 2 Centimeter Durchmesser bringt, so wird sich zeigen, daß dieser stets Wärme ausstrahlt, sobald seine Temperatur nur etwas die Temperatur der Umgebung übersteigt. Wenn man den Versuch in einem Zimmer anstellt, dessen Temperatur unter 0° ist, so wird ein Stück schmelzenden Eises, in den Brennpunkt des einen Spiegels gebracht, die Temperatur im anderen Brennpunkte erhöhen.

Wenn die Temperatur der Umgebung über 0° ist, so wird ein Stück Eis, in den Brennpunkt des einen Hohlspiegels gebracht, das Sinken eines Thermometers veranlassen, welches sich im Brennpunkte des anderen Hohlspiegels befindet. Dies beweist aber nicht, daß eine Kältestrahlung stattfindet, das Thermometer sinkt, weil es mehr Wärme nach dem Eise ausstrahlt, als es von dem Eise zurückempfängt.

Wenn man des Nachts einen Hohlspiegel gegen den heiteren Himmel richtet, so wird ein Thermometer, welches im Brennpunkte dieses Hohlspiegels sich befindet, sinken müssen, weil es seine Wärme nach dem freien Himmelsraume ausstrahlt, ohne daß von dorther sein Wärmeverlust ersetzt wird.

Wenn man Melloni's Thermomultiplicator anwendet, so hat man gar keine Hohlspiegel mehr nöthig, um die Wärmestrahlung nachzuweisen, man braucht nur an dem einen Ende der thermoelektrischen Säule die conische Hülse *b* anzusetzen, welche die Wärmestrahlen etwas concentrirt; wenn man in einer Entfernung von mehreren Schritten die Hand gegen die Oeffnung der Hülse *b* hält, so ist die von ihr ausgehende Wärmestrahlung schon hinreichend, um die Nadel bedeutend abzulenken.

192 **Wärmestrahlungsvermögen der Körper.** Das Vermögen der Körper, die Wärme auszustrahlen, ist sehr ungleich und hängt wesentlich von dem Zustande der Oberflächen ab; im Allgemeinen strahlen die Oberflächen der weniger dichten Körper unter sonst gleichen Umständen mehr Wärme aus, als die Oberflächen dichter Körper. Die Ungleichheit des Strahlungsvermögens verschiedener Oberflächen hat Leslie folgendermaßen nachgewiesen: Er brachte in den Brennpunkt eines Hohlspiegels die eine Kugel seines Differentialthermometers und stellte in einiger Entfernung in der Axe des Hohlspiegels einen hohlen mit heißem Wasser gefüllten Würfel von Messingblech auf, dessen Seite 15 bis 18 Centimeter lang war; die eine Seitenfläche dieses Würfels war mit Ruß überzogen, eine andere polirt; wurde nun die polirte Fläche dem Spiegel zugekehrt, so war die Wirkung auf das Differentialthermometer bei weitem geringer, als wenn man die berußte Fläche dem Spiegel zukehrte; die mit Ruß geschwärzte Fläche strahlt also weit mehr Wärme aus, als die polirte Metallfläche.

Diese Methode ist zwar ganz geeignet, um die Unterschiede im Strahlungsvermögen sichtbar zu machen; um aber genauere Vergleichungen anzustellen, ist Melloni's Verfahren bei weitem vorzüglicher; er stellte in passender Ent-

fernung von der Thermosäule einen Hohlwürfel von Messingblech auf, dessen Seitenlänge 7 bis 8 Centimeter betrug. Er war mit heißem Wasser gefüllt, welches durch eine Weingeistlampe auf constanter Temperatur erhalten wurde; die Seitenflächen dieses Würfels waren auf verschiedene Weise präparirt, nämlich eine mit Ruß, eine mit Bleiweiß, eine mit Tusch überzogen und eine polirt. Je nachdem die eine oder die andere Seitenfläche dem Thermomultiplicator zugekehrt ist, sind die Ablenkungen der Nadel sehr ungleich; aus den beobachteten Ablenkungen ergiebt sich dann ohne Weiteres das Verhältniß, in welchem die Emissionsfähigkeit der verschiedenen Flächen zu einander steht. Auf diese Weise wurde das Ausstrahlungsvermögen folgender Körper bestimmt:

Kienruß	100	Tusch	85
Bleiweiß . . .	100	Gummilack . . .	72
Hausenblase . .	91	Metallfläche . .	12

Wenn man also mit 100 das Ausstrahlungsvermögen des Kienrußes bezeichnet, so ist das Ausstrahlungsvermögen einer polirten Metallfläche gleich 12, also nur $\frac{12}{100}$ von dem der Kienrußfläche.

Melloni hat gezeigt, daß das Strahlungsvermögen eines und desselben Metalls von seiner Dichtigkeit abhängt; denn eine gegossene Platte strahlt mehr Wärme aus, als eine gehämmerte und gewalzte. Wenn man die Oberfläche einer gehämmerten polirten Metallplatte ritzt, so wird ihr Strahlungsvermögen erhöht, weil durch das Ritzen weniger dichte Stellen bloßgelegt werden; eine solche Erhöhung des Strahlungsvermögens durch Ritzen tritt bei gegossenen und ohne Druck polirten Metallplatten nicht ein, ja bei solchen wird sogar das Strahlungsvermögen etwas vermindert, weil beim Ritzen immer ein geringer Druck ausgeübt, also die Dichtigkeit an einigen Stellen des Metalls etwas vergrößert wird.

Bei solchen Körpern, deren Dichtigkeit durch Druck nicht geändert werden kann, wie Marmor, Glas u. s. w., hat das Ritzen der Oberfläche gar keinen Einfluß auf das Strahlungsvermögen.

Nachdem wir das Emissionsvermögen der Körper betrachtet haben, ist zu untersuchen, was aus den Wärmestrahlen wird, welche irgend einen Körper treffen; es sind hier nur folgende Fälle möglich: entweder werden die Wärmestrahlen absorbirt, oder sie werden an seiner Oberfläche zurückgeworfen, oder sie werden durchgelassen. Wir wollen nun diese einzelnen Fälle der Reihe nach betrachten.

Absorption der Wärmestrahlen. Jeder Körper hat das Vermögen, 193
Wärmestrahlen, die, von einem anderen Körper kommend, ihn treffen, mehr oder weniger zu absorbiren; dies ergiebt sich schon aus den eben besprochenen Versuchen, denn die Körper erwärmen sich in dem Brennpunkte des einen Hohlspiegels nur deshalb, weil sie die Wärmestrahlen absorbiren, welche durch die Spiegel auf ihnen concentrirt werden. Daß dies Vermögen aber allen Körpern zukommt, ergiebt sich daraus, daß alle, den Sonnenstrahlen ausgesetzt, eine Temperatur annehmen, welche höher ist als die Temperatur der Luft.

Das Absorptionsvermögen ist nicht für alle Körper gleich, was schon daraus hervorgeht, daß sie nicht gleiches Emissionsvermögen haben; denn eine Oberfläche, welche leicht Wärmestrahlen aussendet, muß umgekehrt auch die Fähigkeit haben, diese Strahlen einzusaugen. Die Ungleichheit des Absorptionsvermögens läßt sich schon durch einen einfachen Versuch zeigen: Man setze nur ein Thermometer, dessen Kugel geschwärzt ist, den Sonnenstrahlen aus, so wird es weit höher steigen als ein anderes, dessen Kugel nicht geschwärzt ist; die geschwärzte Oberfläche der einen Thermometerkugel absorbirt also offenbar mehr Wärmestrahlen, als die glänzende Oberfläche der anderen.

Die von einem Körper absorbirten Wärmestrahlen sind es also, welche ihn erwärmen; wenn demnach ein Körper durch Wärmestrahlung möglichst stark erwärmt werden soll, so muß man ihn mit einem Ueberzuge versehen, welcher die Wärmestrahlen stark absorbirt; man überzieht deshalb auch alle Thermoskope, welche dazu dienen sollen, die Wirkungen der Wärmestrahlen recht deutlich zu machen, die Kugeln der Differentialthermometer, die beiden Enden der thermoelektrischen Säule mit Ruß, weil dieser unter allen bekannten Körpern das stärkste Absorptionsvermögen hat.

Wir haben oben gesehen, daß metallische Oberflächen nur ein sehr geringes Emissionsvermögen besitzen, und daraus folgt, daß sie die Wärmestrahlen auch nur in einem sehr geringen Maaße einzusaugen im Stande sind.

Weiter unten, wenn wir die ungleiche Natur der verschiedenen Wärmestrahlen werden kennen gelernt haben, wird von dem Absorptionsvermögen noch ausführlicher die Rede seyn.

194 **Reflexion und Diffusion der Wärmestrahlen.** Im Allgemeinen haben die Körper die Fähigkeit, einen Theil der sie treffenden Wärmestrahlen ganz in der Weise zurückzuwerfen, wie sie auch die Lichtstrahlen regelmäßig oder unregelmäßig reflectiren. Die Hohlspiegel, die uns zu den obigen Versuchen dienten, geben uns einen entscheidenden Beweis für die Reflexion der Wärmestrahlen; denn sie erwärmen sich selbst bei dem Versuche mit Zunder nicht. Ein einfacher Schluß überzeugt uns, daß die meisten Körper dieses Reflexionsvermögen besitzen müssen und daß es dem Absorptionsvermögen so zu sagen complementär ist; denn die Summe der absorbirten und der reflectirten Wärmestrahlen muß doch offenbar der Gesammtheit der einfallenden Strahlen gleich seyn, vorausgesetzt, daß der Körper keine Wärmestrahlen durchläßt. Wenn also das Reflexionsvermögen größer ist, so ist das Absorptionsvermögen geringer, und umgekehrt. Ein Körper, der gar keine Wärmestrahlen reflectirt, muß alle Strahlen absorbiren, wie dies in der That bei solchen Oberflächen der Fall ist, die man sorgfältig mit Ruß überzogen hat; polirte Metallflächen dagegen, welche ein großes Reflexionsvermögen besitzen, absorbiren nur sehr wenig Wärmestrahlen.

Die Wärmestrahlen werden ganz nach denselben Gesetzen reflectirt wie die Lichtstrahlen, d. h. der Reflexionswinkel ist dem Einfallswinkel gleich; dies geht schon aus den Versuchen mit den Hohlspiegeln hervor, da ja die Brennpunkte für die Wärmestrahlen mit denen der Lichtstrahlen zusammenfallen.

So wie an der Oberfläche eines nicht ganz vollständig polirten Körpers Lichtstrahlen nach allen Seiten unregelmäßig zerstreut werden, so erleiden auch die Wärmestrahlen an der Oberfläche der meisten Körper eine Diffusion. Man kann sich davon durch folgenden Versuch überzeugen. Man lasse durch eine Oeffnung in dem Laden eines dunklen Zimmers Sonnenstrahlen auf eine der Oeffnung gegenüberliegende Wand fallen, so wird der erleuchtete Fleck derselben, welcher von allen Seiten her sichtbar ist, weil er das Sonnenlicht nach allen Seiten hin zerstreut, auch die Wärmestrahlen unregelmäßig zerstreuen, also nach allen Seiten hin Wärmestrahlen aussenden, als ob er selbst eine Wärmequelle wäre. Diese Diffusion der Wärmestrahlen wird sichtbar, wenn man dem hellen Flecke die thermoelektrische Säule zukehrt; man erhält einen Ausschlag der Nadel, an welcher Stelle des Zimmers man auch das Instrument aufstellen mag; die Wirkung kann also nicht von einer regelmäßigen Reflexion herrühren; daß sie aber auch nicht die Folge einer Erwärmung der von den Sonnenstrahlen beschienenen Stelle der Wand ist, geht daraus hervor, daß die Nadel auf der Stelle wieder auf den Nullpunkt der Theilung zurückgeht, sobald man die Oeffnung im Laden verschließt.

Auch von der Diffusion der Wärmestrahlen wird weiter unten noch ausführlicher die Rede seyn.

Fähigkeit der Körper, Wärmestrahlen durchzulassen. Daß feste 195
Körper Wärmestrahlen in derselben Weise durchlassen können, wie durchsichtige Körper die Lichtstrahlen, geht schon daraus hervor, daß man im Stande ist, brennbare Körper zu entzünden, wenn man sie in den Brennpunkt einer den Sonnenstrahlen ausgesetzten Linse hält. Genauere Untersuchungen wurden erst durch die thermoelektrische Säule möglich, und Melloni hat mit Hülfe derselben eine Reihe höchst wichtiger Untersuchungen über den Durchgang der Wärmestrahlen durch verschiedene Körper angestellt.

Diejenigen Körper, welche die Wärmestrahlen aufhalten, wie die undurchsichtigen Körper die Lichtstrahlen, nennt Melloni atherman; solche Körper hingegen, welche sich gegen die Wärmestrahlen verhalten, wie die durchsichtigen Körper gegen die Lichtstrahlen, nennt er diatherman. Die Luft ist also ein diathermaner Körper, und wir werden sogleich sehen, daß auch sehr viele feste und flüssige Körper, wenn auch in sehr ungleichem Maaße, diatherman sind.

Die Versuche über den Durchgang der Wärmestrahlen wurden mit dem schon oben näher beschriebenen Apparate, Fig. 522 (a. f. S.), angestellt; als Wärmequellen dienten die Locatelli'sche Lampe *i*, eine Spirale von Platindraht, Fig. 523, welche durch eine Alkoholflamme rothglühend erhalten wurde, ein geschwärztes Kupferblech, Fig. 524, welches durch eine Weingeistlampe auf 400° erwärmt war, und endlich ein hohler Würfel, Fig. 525, von Messingblech, welcher mit heißem Wasser gefüllt war, das durch eine Lampe auf constanter Temperatur erhalten wurde. Diese constanten Wärmequellen wurden der Reihe nach auf den Träger *e* Fig. 522 gesetzt. Der Schirm *o*, welcher aus zwei Messingplatten zusammengesetzt und um ein Charnier drehbar ist, kann zwischen die Wärmequelle und die Thermosäule gebracht werden, so daß man in jedem

Augenblicke die Wärmestrahlung von der Thermosäule abhalten kann; die Platten endlich, welche man in Beziehung auf ihre Fähigkeit, Wärmestrahlen durchzulassen, untersuchen will, werden bei *r* aufgestellt.

Die Versuche wurden in folgender Weise angestellt: Die Wärmequelle wurde in eine solche Entfernung gebracht, daß sie eine Ablenkung der Nadel bis auf 30° hervorbrachte; wurden nun die Wärmestrahlen durch eine bei *r* aufgestellte Platte des zu untersuchenden Körpers aufgefangen, so ging die

Fig. 522.

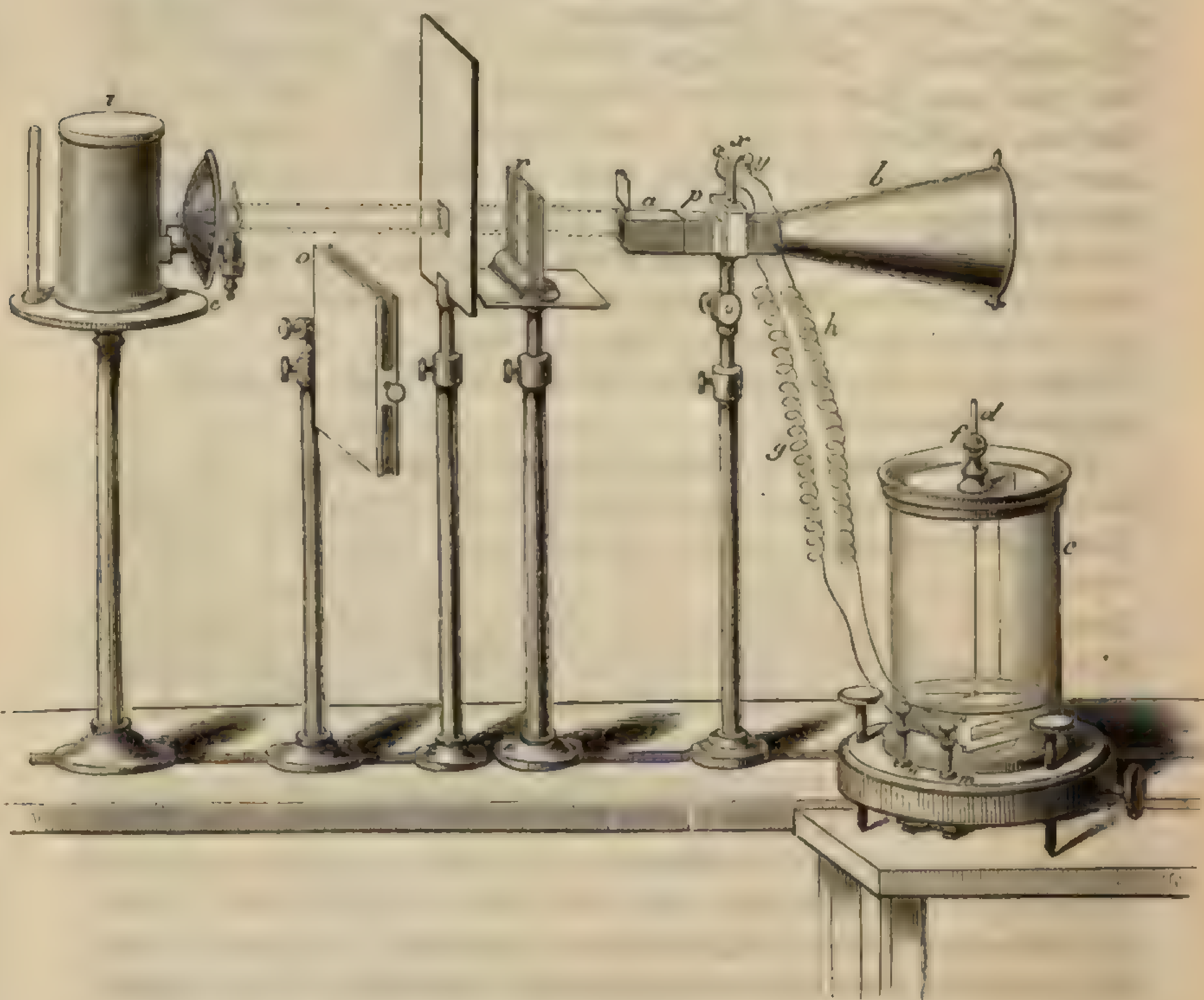


Fig. 523.

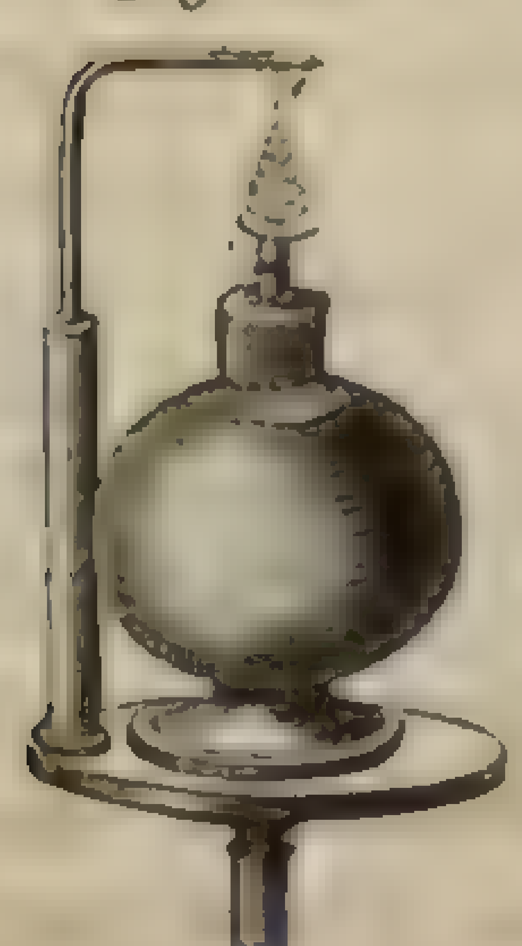


Fig. 524.



Fig. 525.



Nadel bald mehr, bald weniger zurück, und so ergab sich, daß gleich dicke und gleich durchsichtige Platten verschiedener Körper nicht gleiche Mengen strahlender Wärme durchlassen. Bewirkt z. B. die freie Strahlung der Wärmequelle eine Ablenkung von 30°, so wird die Nadel auf 28° zurückgehen, wenn man eine 3 bis 4 Millimeter dicke Steinsalzplatte bei r aufstellt, während eine gleich dicke Quarzplatte die Nadel auf 15 bis 16° zurückgehen macht; das Steinsalz läßt also die Wärmestrahlen bei weitem besser durch, als der Bergkrystall. Manche weniger durchsichtige Körper lassen sogar die Wärmestrahlen besser durch als andere, die ganz durchsichtig sind. Während z. B. eine ganz durchsichtige Alaunplatte die Ablenkung der Nadel von 30° auf 3 bis 4° reducirt, bringt eine noch weit dickere Platte von Rauchtopas die Nadel nur auf 14 bis 15° zurück. Ja mancher fast ganz undurchsichtige Körper, wie schwarzes Glas und schwarzer Glimmer, lassen noch ziemlich viele Wärmestrahlen durch.

Aus den beobachteten Ablenkungen ergeben sich folgende Werthe für die Fähigkeit verschiedener Körper, die Wärmestrahlen durchzulassen.

Namen der Körper.	Locatelli'sche Lampe.	Glühende Platinspirale.	Geschwärztes bis zu 400° erwärmtes Kupferblech.	Geschwärztes bis zu 100° erwärmtes Messingblech.
Freie Strahlung der Wärmequelle .	100	100	100	100
Steinsalz	92	92	92	92
Flußspath, klar, farblos	78	69	42	33
Kalkspath	39	28	6	0
Spiegelglas	39	24	6	0
Bergkrystall	38	28	6	0
Gyps, krystallisirt	14	5	0	0
Citronensäure	11	2	0	0
Alaun	9	2	0	0
Schwarzes Glas, 1mm dick . . .	26	25	12	0
Schwarzer Glimmer, 0,9mm dick .	20	20	9	0
Eis	6	0	0	0

Wo die Dicke der Platte nicht bemerkt ist, betrug sie 2,6 Millmeter.

Die Betrachtung dieser Tabelle führt uns zu sehr wichtigen Folgerungen. Wir sehen, daß das Steinsalz die Strahlen aller Wärmequellen mit gleicher Leichtigkeit durchläßt, was bei allen anderen angeführten Substanzen nicht der Fall ist Wir sehen z. B., daß eine Flußspathplatte 78 Procent der Strahlen

durchläßt, welche von der Locatelli'schen Lampe kommen, aber nur 33 Procent der Wärmestrahlen, welche von einer berußten, bis zu 100° erwärmten Metallfläche ausgestrahlt werden. Das schwarze Glas läßt die Wärmestrahlen der Locatelli'schen Lampe und der glühenden Platinspirale fast gleich gut durch, von der ersteren Quelle nämlich 26, von der zweiten 25 Procent; es läßt gar keine der Wärmestrahlen durch, welche von der vierten, und nur 12 Procent der Strahlen, welche von der dritten Wärmequelle kommen.

Daraus geht hervor, daß die Wärmestrahlen, welche von den verschiedenen Wärmequellen kommen, nicht ganz gleicher Natur sind; denn sonst müßte jeder Körper die Strahlen aller Wärmequellen in gleichem Verhältnisse durchlassen. Dieser Unterschied in der Natur der Wärmestrahlen tritt aber noch deutlicher hervor, wenn man die Wärmestrahlen durch mehrere hinter einander aufgestellte Körper gehen läßt.

Läßt man die Wärmestrahlen, welche durch eine Glasplatte gegangen sind, auf eine Alaunplatte fallen, so werden sie gänzlich absorbirt, während doch eine Alaunplatte fast alle Wärmestrahlen durchläßt, welche zuvor durch eine Platte von Citronensäure gegangen sind. Diese Erscheinung hat die größte Aehnlichkeit mit dem Durchgange des Lichts durch gefärbte Mittel; Lichtstrahlen, welche durch ein grünes Glas gegangen sind, werden bekanntlich von anderen grünen Gläsern leicht durchgelassen, sie werden aber absorbirt, wenn man sie auf ein rothes Glas fallen läßt; die Unterschiede zwischen den Wärmestrahlen sind also den Verschiedenheiten der Farben beim Lichte ganz analog.

Melloni nannte die Eigenschaft der Körper, gewisse Wärmestrahlen vorzugsweise zu absorbiren, andere hingegen vorzugsweise durchzulassen, Diathermansie; man könnte diese Eigenschaft, nach Pouillet's Vorschlage, auch Thermanismus, die Körper aber, welchen sie zukommt, thermanisirende nennen. Thermanisirte Wärmestrahlen wären demnach solche, welchen dadurch, daß sie einen thermanisirenden Körper durchdrungen haben, gleichsam eine Wärmefärbung erhalten haben, wie den Lichtstrahlen, indem sie durch farbige Gläser gehen, eine bestimmte Farbe ertheilt wird. Das Steinsalz ist der einzige bis jetzt bekannte feste diathermane Körper, welcher die Wärmestrahlen nicht thermanisirt, denn das Steinsalz läßt ja alle Wärmestrahlen gleich gut durch, es verhält sich gegen die Wärmestrahlen wie ein farbloser durchsichtiger Körper gegen das Licht.

Wenn man mit 100 die Intensität der Wärmestrahlen bezeichnet, welche auf eine Steinsalzplatte fallen, so ist die Intensität der durchgelassenen Strahlen nach unserer Tabelle 92, oder genauer 92,3, der Rest der auffallenden Strahlen, welcher nicht durch die Platte hindurchgeht, ist 7,8 oder ungefähr $^1/_{13}$ der einfallenden Strahlen; dieser Rest kann nun entweder absorbirt, oder an den beiden Oberflächen der Steinsalzplatte rechtwinklig reflectirt worden seyn; in der That findet nur das Letztere, d. h. im Steinsalz findet gar keine merkliche Absorption der Wärmestrahlen Statt. Zu diesem Schlusse ist man schon dadurch berechtigt, daß die Dicke einer Steinsalzplatte gar keinen Einfluß auf die Quantität der durchgelassenen Wärmestrahlen ausübt; eine Steinsalzplatte

von 1 Millimeter Dicke läßt die Wärmestrahlen nicht besser durch als eine andere, welche mehrere Centimeter dick ist.

Dieser Schluß wird durch folgende Versuche zur Gewißheit.

Bringt man einmal eine 8 Millimeter dicke Glasplatte, dann aber 6 Glasplatten von derselben Glassorte in den Apparat, welche zusammen 8 Millimeter dick sind, so wird sich die Menge der Wärmestrahlen, welche die eine Platte durchläßt, zu der, welche durch die 6 Platten geht, wie 23 zu 15 verhalten. In beiden Fällen ist der Verlust durch Absorption ganz derselbe; wenn also das System von 6 Platten weniger Wärmestrahlen durchläßt, so kann dies nur eine Folge der mehrfachen Reflexionen seyn. Weil die Absorption in der einen dicken Platte dieselbe Wirkung ausübt, wie in den 6 dünnen, so kann man sie ganz unberücksichtigt lassen, man kann annehmen, sie sey gleich Null, oder auch, es wären nur Strahlen von einer solchen Wärmefärbung eingefallen, daß sie gar nicht vom Glase absorbirt werden; bezeichnen wir unter dieser Voraussetzung mit 1 die Intensität der einfallenden Strahlen, mit r den durch die Reflexion an den beiden Oberflächen hervorgebrachten Verlust, so ist die Intensität der Wärmestrahlen, welche durch eine Platte durchgehen, $1 - r$; die Intensität der Wärmestrahlen, welche die 6 Platten durchlaufen haben, wird demnach $(1 - r)^6$ seyn. Die Wärmemenge, welche durch eine Platte hindurchgeht, verhält sich demnach zu der, welche die 6 Platten durchlassen, wie $1 - r$ zu $(1 - r)^6$ oder wie 1 zu $(1 - r)^5$. Nach dem Versuche verhalten sich aber diese Wärmemengen wie 23 zu 15, wir haben also

$$23 : 15 = 1 : (1 - r)^5,$$

und daraus folgt $(1 - r)^5 = 0{,}65217\ldots$, also $1 - r = 0{,}918$ und $r = 1 - 0{,}918 = 0{,}082$. Aus diesem Versuche ergiebt sich also für den Verlust durch Spiegelung an den beiden Flächen einer Glasplatte der Werth 0,082, was fast gleich $1/_{13}$ und dem entsprechenden Werthe für Steinsalz ganz gleich ist. Bergkrystall, senkrecht auf die Axe geschnitten, giebt denselben Werth, und man kann daraus folgende Schlüsse ziehen: 1) das Steinsalz läßt die Wärmestrahlen ohne merkliche Absorption durch; 2) die rechtwinklige Reflexion an der ersten und zweiten Oberfläche einer Platte von Steinsalz, Glas oder Quarz beträgt nur $1/_{13}$ der einfallenden Wärmestrahlen.

Einfluß der Dicke diathermaner Platten auf die Durchlassung der Wärmestrahlen. 196 Wir haben gesehen, daß das Steinsalz keine merkliche Absorption auf die Wärmestrahlen ausübt, wenigstens wenn die Platten nur 3 bis 4 Centimeter dick sind; das Steinsalz ist aber auch der einzige vollkommene diathermane Körper; alle anderen Körper absorbiren mehr oder weniger Wärmestrahlen. Die Größe der Absorption hängt aber nicht allein von der Natur der Wärmequelle, sondern auch von der Dicke der Platten ab.

Die folgende Tabelle enthält die Resultate, welche in dieser Hinsicht für Glas, durchsichtigen Bergkrystall, Rauchtopas, Rüböl und destillirtes Wasser beobachtet wurden.

Dicke in Millimetern.	Glas von St. Gobin.			Durchsichtiger Bergkrystall.			Rauchtopas.			Rüböl.		Destillirtes Wasser.	
	Locatelli'sche Lampe.	Glühendes Platin.	Kupfer von 400°	Locatelli'sche Lampe.	Glühendes Platin.	Kupfer von 400°.	Locatelli'sche Lampe.	Glühendes Platin.	Kupfer von 400°.	Locatelli'sche Lampe.	Glühendes Platin.	Locatelli'sche Lampe.	Glühendes Platin.
0,5	77,5	62,1	14,4	78,6	69,5	14,8	81,7	70,0	15,4	64,0	32,0	25,1	8,7
1,0	73,3	51,5	9,9	76,8	65,1	11,3	78,6	65,0	12,3	48,3	22,8	19,3	5,7
1,5	70,4	46,1	6,7	74,8	62,5	9,7	»	»	»	41,0	18,7	16,0	4,2
2,0	68,2	42,8	5,0	73,3	60,6	8,7	75,1	60,3	9,1	36,1	16,3	13,9	3,2
2,2	66,6	»	»	72,5	»	»	»	»	»	32,7	»	»	»
3	65,3	38,3	2,9	71,8	57,6	7,3	73,1	57,4	7,8	30,6	13,6	11,4	2,0
4	63,4	35,8	2,0	70,8	55,3	6,6	71,4	54,8	7,0	27,8	12,0	10,0	1,5
5	62,0	34,0	1,5	70,2	53,3	6,0	»	»	»	25,7	10,8	9,1	1,1
6	60,9	32,3	1,4	69,8	51,4	5,3	»	»	»	23,9	9,8	8,6	1,0
7	60,0	30,9	1,2	69,5	49,8	5,0	»	»	»	22,6	8,9	8,2	0,8
8	59,2	29,7	1,1	69,3	48,4	4,6	»	»	»	21,8	8,1	8,0	0,6
9	»	»	»	»	»	»	»	»	»	21,2	7,5	7,8	0,5
10	»	»	»	»	»	»	»	»	»	21,0	7,1	7,7	0,4
11	»	»	»	»	»	»	»	»	»	20,9	6,7	7,7	0,3
50	»	»	»	»	»	»	»	»	»	12,5	2,1	2,4	0,0
86	»	»	»	»	»	»	59,0	35,0	0,7	»	»	»	»
100	»	»	»	»	»	»	»	»	»	8,1	1,2	1,3	0,0
150	»	»	»	»	»	»	»	»	»	6,1	»	0,7	0,0
200	»	»	»	»	»	»	»	»	»	5,3	»	»	»

Nicht alle Zahlen dieser Tabelle sind das unmittelbare Resultat des Versuchs, weil es nicht immer möglich war, Platten zu erhalten, welche genau $1/2$, $2/2$, $3/2$ u. s. w. Millimeter dick waren; die Zahlen, welche diesen Dicken entsprechen, wurden durch Interpolation aus den benachbarten beobachteten Werthen abgeleitet.

Das Rüböl wurde, um es dem Versuche zu unterwerfen, in ein Behälter gegossen, welches auf beiden Seiten mit Steinsalzplatten begränzt war. Wenn die Dicke der Oelschicht mehr als 3 Millimeter betrug, so war es gleichgültig, ob sie zwischen Glasplatten oder zwischen Steinsalzplatten eingeschlossen war.

Nachdem ermittelt worden war, daß reines Wasser ebenso wirkt wie Salzwasser, war es leicht zu erkennen, daß eine Wasserschicht denselben Effect hervorbringt, mag sie nun zwischen Glasplatten oder zwischen Steinsalzplatten eingeschlossen seyn.

Man sieht, daß für die fünf Körper die Absorption bei einer Dicke von $1/2$ Millimeter schon sehr beträchtlich und daß sie um so bedeutender wird, je niedriger die Temperatur der Wärmequelle ist.

Die Absorption nimmt bei zunehmender Dicke anfangs rasch zu, sie scheint sich aber einer bestimmten Gränze zu nähern, denn für eine bedeutende Dicke hat eine Vermehrung derselben keinen merklichen Einfluß mehr. Es läßt sich dies am besten durch eine graphische Darstellung der in unserer Tabelle zusammengestellten Resultate übersehen. In Fig. 526 sind die Abscissen der Dicke der Platten, die Ordinaten der Intensität der Wärmestrahlen proportional, welche eine Glasplatte der entsprechenden Dicke durchläßt. Die oberste Curve entspricht dem Falle, daß die einfallenden Strahlen von der Locatelli'schen Lampe kommen, die zweite gilt für das glühende Platin, die dritte für das auf 400° erwärmte Kupferblech.

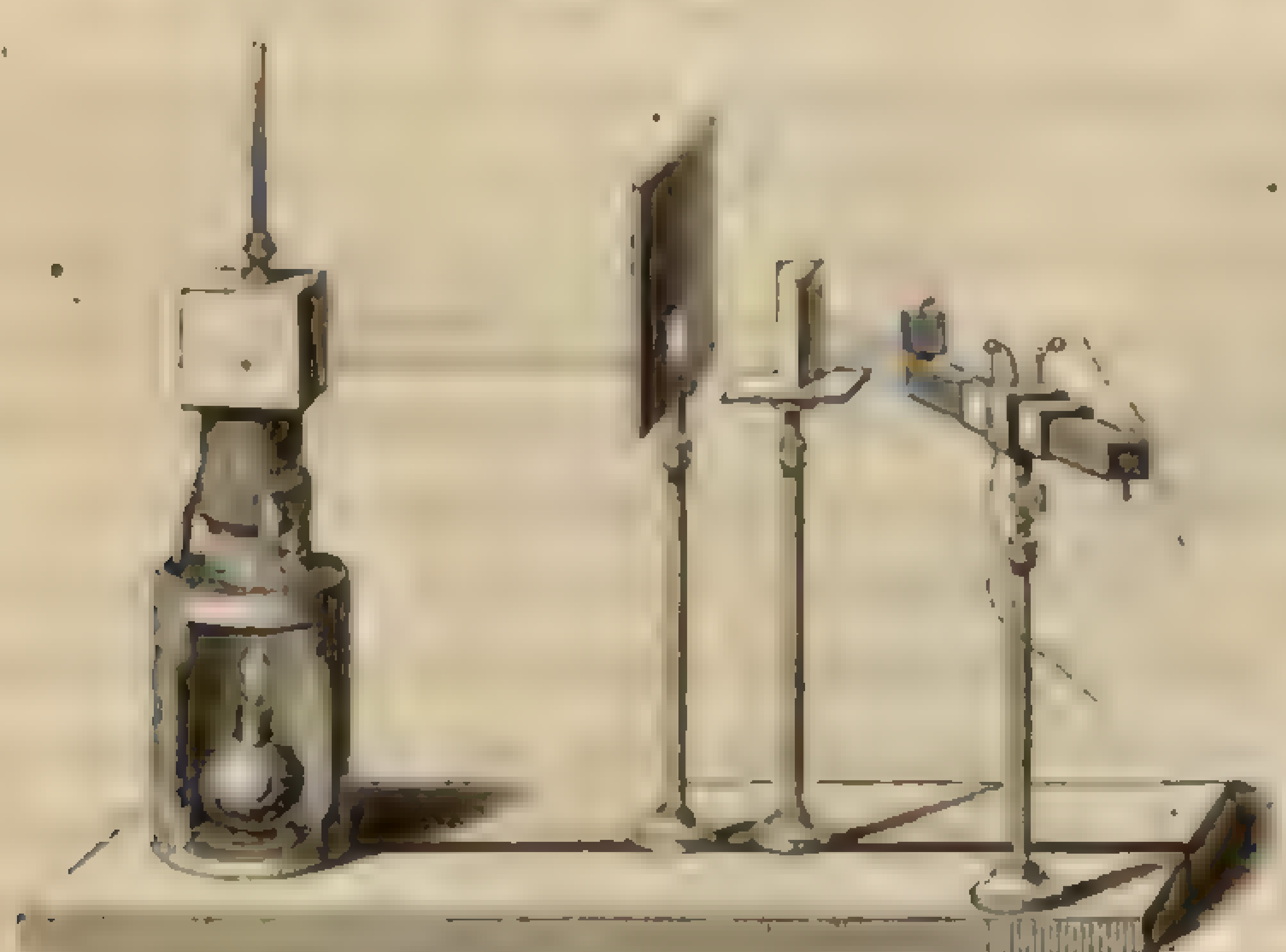
Fig. 526.



Wir sehen aus dieser Zusammenstellung auch, daß die Wärmestrahlen der verschiedenen Wärmequellen aus sehr verschieden absorbirbaren Elementen bestehen; um die Strahlen der einen Quelle fast vollständig zu absorbiren, ist nur eine sehr geringe Dicke nöthig, während andere Strahlen selbst bei einer sehr bedeutenden Dicke der Absorption widerstehen. Die Wärmequellen von niedriger Temperatur enthalten im Allgemeinen eine größere Anzahl absorbirbarer Elemente, wenigstens für die in unserer Tabelle enthaltenen Substanzen.

Brechung der Wärmestrahlen. Auf einem Statif, Fig. 527, wird 197
ein Prisma von Steinsalz und in einiger Entfernung die Locatelli'sche

Fig. 527.



Lampe aufgestellt; man sucht alsdann die Richtung, in welcher die von der Lampe ausgehenden Lichtstrahlen für den Fall der geringsten Ablenkung aus dem Prisma austreten, und bringt dann die thermoelektrische Säule in diese

Richtung; die Nadel wird alsdann abgelenkt; sie geht aber sogleich wieder zurück, wenn man die von der Wärmequelle auf das Prisma fallenden Strahlen durch einen Schirm auffängt. Die Nadel wird auch noch abgelenkt, wenn man an die Stelle der Lampe eine glühende Platinspirale, das bis auf 400° erhitzte Kupferblech oder selbst den mit kochendem Wasser gefüllten Würfel setzt. Die Ablenkung der Nadel hört auf, wenn man die Säule etwas dreht, so daß sie aus der Richtung der gebrochenen Strahlen herauskommt. Die Strahlen der verschiedenen Wärmequellen werden also durch das Steinsalz gebrochen, und ihr Brechungsexponent ist von dem der Lichtstrahlen nicht merklich verschieden.

Wenn man mit Sonnenlicht und einem Steinsalzprisma operirt, welches ein sehr breites Spectrum giebt, so kann man die wahre Zusammensetzung der Sonnenwärme studiren; es ergiebt sich auf diese Weise, daß sie Elemente von sehr verschiedener Brechbarkeit enthält, die zum Theil noch brechbarer sind als das violette Licht, zum Theil aber noch weniger brechbar als die rothen Strahlen. Das Maximum der Wirkung des Wärmespectrums der Sonne liegt noch jenseits der Gränze des rothen Endes des Lichtspectrums. Es zeigt sich auch, daß die meisten thermanisirenden Körper vorzugsweise die weniger brechbaren Wärmestrahlen absorbiren, die brechbareren aber durchlassen; da sie nun aber auch die Wärmestrahlen absorbiren, welche von Wärmequellen niedriger Temperatur kommen, so folgt, daß durch Erhöhung der Temperatur vorzugsweise die Menge der brechbareren Wärmestrahlen vermehrt wird.

Man sieht wohl ein, daß die Sonnenspectra solcher Prismen, welche aus anderen Substanzen verfertigt sind, nicht dieselbe Vertheilung der Wärme zeigen können, wenn diese Substanzen die Wärmestrahlen in verschiedenem Verhältnisse absorbiren. Diese Bemerkung reicht wohl hin, um die Verschiedenheit der Resultate zu erklären, welche die Physiker erhalten hatten, bevor Melloni das Princip des Thermanismus begründet hatte.

198 **Ungleichheit des Absorptions- und Diffusionsvermögens für die Strahlen verschiedener Wärmequellen.** Da die diathermanen Körper bald die Wärmestrahlen der einen, bald die der anderen Wärmefarbe vorzugsweise absorbiren, so fragt es sich, ob nicht auch bei den athermanen Körpern etwas Aehnliches stattfindet, d. h. ob die athermanen Körper die Wärmestrahlen aller Arten mit gleicher Leichtigkeit absorbiren oder nicht?

Um diese Frage zu beantworten, stellte Melloni folgende Versuche an: Aus einer und derselben Kupfertafel wurde eine Anzahl Scheiben geschnitten, deren Durchmesser nur wenig größer war, als der Durchmesser der äußeren Oeffnung des an die thermoelektrische Säule angesetzten conischen Reflectors; alle diese Scheiben wurden auf der einen Seite durch Ruß geschwärzt, auf der anderen Seite aber mit einem gleichmäßigen Anstriche der zu prüfenden Substanz versehen; diese Scheiben wurden nun nach einander dicht vor die Oeffnung des conischen Reflectors gebracht, indem die geschwärzte Seite der Säule, die andere aber der Wärmequelle zugekehrt war. Durch die an der Vorder-

seite absorbirten Wärmestrahlen wurde die Platte erwärmt und sandte in Folge dessen auf der anderen Seite Wärmestrahlen nach der Säule. Die folgende Tabelle enthält die Resultate dieser Versuche.

Namen der Körper.	Glühendes Platin.	Kupfer von 400°.	Kupfer von 100°.
Kienruß	100	100	100
Bleiweiß	56	89	100
Hausenblase	54	64	91
Tusch	95	87	85
Gummilack	47	70	72
Blanke Metallfläche	13,5	13	13

Es ist hier das Absorptionsvermögen des Kienrußes mit 100 bezeichnet und damit das Absorptionsvermögen der anderen Körper verglichen worden, indem man einmal eine auf beiden Seiten berußte Scheibe und darauf die nur auf der einen Seite berußte, auf der anderen mit dem zu untersuchenden Körper überstrichene vor die Säule setzte. Man sieht aus dieser Tabelle, daß das Bleiweiß bei weitem weniger Wärmestrahlen absorbitt als der Kienruß, wenn das glühende Platin als Wärmequelle dient; die von dem auf 400° erwärmten Kupferbleche ausgehenden Strahlen werden schon vollständiger von Bleiweiß absorbirt; die Wärmestrahlen endlich, welche von der nur auf 100° erwärmten Wärmequelle ausgehen, werden durch das Bleiweiß eben so vollständig absorbirt, als vom Kienruß.

Der Tusch zeigt ein umgekehrtes Verhalten; er absorbirt die Strahlen, welche von einer Wärmequelle von geringer Temperatur herkommen, weniger gut als die vom glühenden Platin ausgesandten.

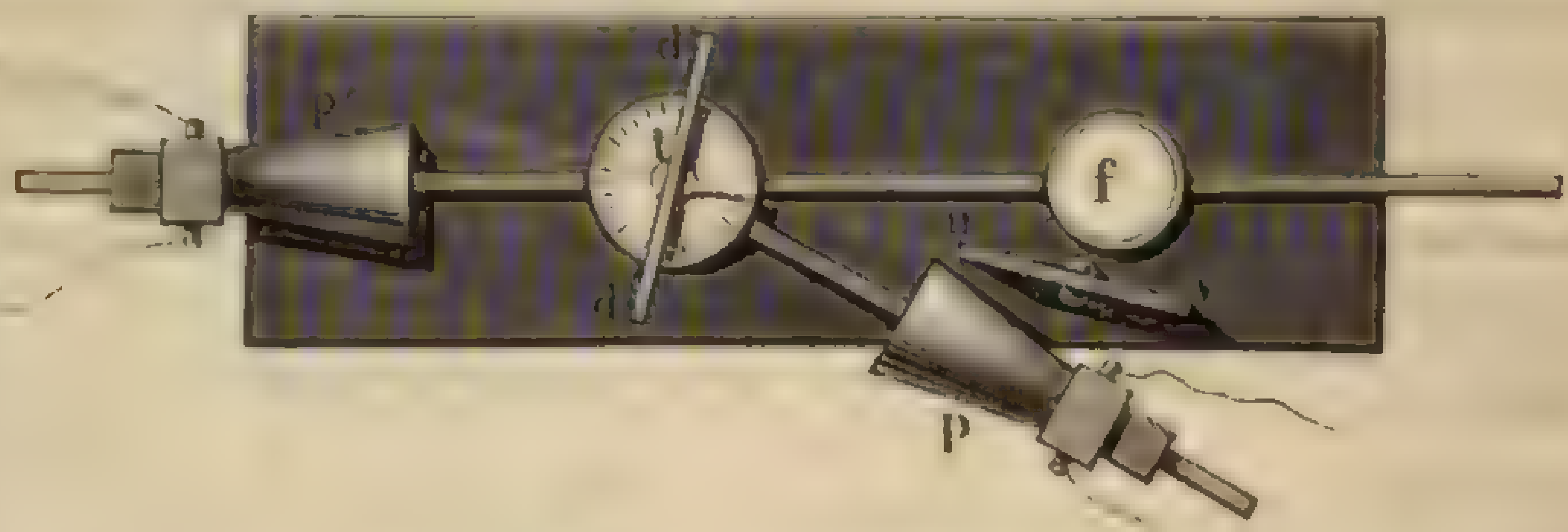
Das Bleiweiß absorbirt also vorzugsweise die weniger brechbaren Wärmestrahlen, der Tusch hingegen die brechbareren.

Der Kienruß absorbirt unter allen bekannten Körpern die Wärmestrahlen am vollständigsten; es folgt aber daraus doch noch nicht, daß er wirklich die Wärmestrahlen aller Wärmequellen in gleichem Verhältnisse absorbirt. Die vollständigste Kenntniß der Art und Weise, wie der Kienruß die verschiedenen Wärmestrahlen absorbirt, ist von der höchsten Wichtigkeit, weil alle Thermoskope, welche man zur Untersuchung der strahlenden Wärme anwendet, mit Ruß überzogen sind. Bei allen Untersuchungen mit der Thermosäule wurde stillschweigend angenommen, daß der Kienruß alle Wärmestrahlen gleichförmig absorbire, und alle aus den Beobachtungen mit diesem Instrument gezogenen Folgerungen würden falsch seyn, wenn diese Voraussetzung unwahr wäre; Melloni hat die Richtigkeit dieser Voraussetzung durch folgende Versuche bewiesen:

Es sey $d\,d'$, Fig. 528 (a. f. S.), die Horizontalprojection einer auf beiden Seiten berußten Scheibe von Kupferblech, welche 15 bis 20 Centimeter Durchmesser

hat. Vor der Scheibe $d\,d'$ ist ein Metallschirm $u\,v$ aufgestellt, welcher die Thermosäule in p vor der directen Wirkung der Strahlen schützt, welche von

Fig. 528.



der bei f aufgestellten Wärmequelle ausgehen. Die Thermosäule ist am Ende eines horizontalen Stabes befestigt, welcher um die Axe l drehbar ist, so daß man die Thermosäule leicht von p nach p' und wieder zurückbringen kann. Der Winkel, welchen die Axe der Thermosäule mit der Ebene von $d\,d'$ macht, ist in beiden Lagen derselbe, d. h. es ist Winkel $p\,l\,d'$ gleich Winkel $p'\,l\,d'$. Zuerst wurde nun die Säule in die Lage p' gebracht; die Scheibe $d\,d'$ erwärmte sich durch die von f ausgehenden und auf der Vorderseite von $d\,d'$ absorbirten Strahlen, und in Folge dieser Erwärmung sandte dann die hintere Seite der Scheibe selbst Wärmestrahlen nach der Thermosäule. Man rückte die Wärmequelle so, daß das Maximum der Wirkung auf die Thermosäule in p' eine Ablenkung von ungefähr 12° hervorbrachte. Nun wurde die Säule nach p gebracht; jetzt mußte die Ablenkung größer seyn, denn die vordere Fläche sendet nicht allein Wärmestrahlen in Folge der Erwärmung der Scheibe aus, sondern sie zerstreut auch einen Theil der von f kommenden Wärmestrahlen. Diese Versuche gaben folgende Resultate:

	Wirkungen der	
	hinteren Fläche.	vorderen Fläche.
Metall von 400°.		
Ablenkungen	12,36°	14,58°
Entsprechende Kräfte . .	100	118
Glühendes Platin.		
Ablenkungen	12,26°	14,35°
Entsprechende Kräfte . .	100	117
Locatelli's Lampe.		
Ablenkungen	11,83°	14,08°
Entsprechende Kräfte . .	100	119

Die Wirkungen, welche die hintere und die vordere Fläche hervorbringen, stehen also stets in demselben Verhältnisse, in dem Verhältnisse von 100 zu 118, welche Wärmequelle man auch anwenden mag. Auf der Vorderfläche findet also eine schwache Diffusion Statt, aber das Verhältniß zwischen Diffusion nnd Absorption ist stets dasselbe; der Kienruß hat also in der That für Wärmestrahlen aus allen Quellen gleiches Absorptionsvermögen.

Da der Kienruß alle Wärmestrahlen fast ganz absorbirt, so ist er so zu sagen schwarz für die Wärmestrahlen wie für die Lichtstrahlen.

Nun drängt sich die interessante Frage auf, ob es Körper giebt, welche alle Wärmestrahlen gleich gut zerstreuen, also Körper, welche für die Wärmestrahlen das sind, was ein weißer Körper für das Licht ist. Solche wärme-weißen Körper sind nun die Metalle; denn aus der Tabelle auf Seite 589 sehen wir, daß sie die Wärmestrahlen aller Arten in gleichem Maaße absorbiren, folglich müssen sie auch alle Wärmestrahlen in gleichem Verhältnisse zerstreuen.

Aus der auf Seite 589 angeführten Tabelle ersieht man, daß das Bleiweiß nicht alle Wärmearten gleich gut absorbirt, und daraus folgt denn, daß auch sein Diffusionsvermögen für die Wärmestrahlen verschiedener Wärmequellen sehr ungleich seyn müsse. Melloni hat dies auch durch den Versuch direct bewiesen. Die Wärmequelle f, Fig. 528, und die thermoelektrische Säule p waren gerade ebenso aufgestellt, wie bei dem Versuche, durch welchen die Gleichheit des Absorptionsvermögens des Kienrußes für alle Wärmestrahlen bewiesen wurde, die dünne Metallscheibe $d\,d'$ war aber nur auf der Rückseite geschwärzt, auf der Vorderseite hingegen mit Bleiweiß angestrichen; wenn sich nun die thermoelektrische Säule in p' befand, so wurde sie nur durch die von der Scheibe in Folge ihrer Erwärmung ausgestrahlte Wärme afficirt; befand sich aber die Säule in p, so wirkten außerdem auch noch die an der Vorderfläche zerstreuten Strahlen auf dieselbe. Die Resultate dieser Versuche waren folgende:

	Wirkungen der	
	hinteren schwarzen Fläche.	vorderen weißen Fläche.
Metall von 400°.		
Ablenkungen	11,51°	15,96°
Kräfte	93	129
Glühendes Platin.		
Ablenkungen	10,32°	18,68°
Kräfte	84	152
Locatelli's Lampe.		
Ablenkungen	8,13°	21,05°
Kräfte	69	181

Es sind also

die Ausstrahlungen der Hinterfläche	93	84	69
die entsprechenden Ausstrahlungen der Vorderfläche .	129	152	181
das Verhältniß beider	$^{10}/_{14}$	$^{10}/_{18}$	$^{10}/_{20}$.

Die weiße Fläche hat also nicht gleiches Absorptions- und Diffusionsvermögen für alle Wärmearten. Die Strahlen des auf 400° erhitzten Metalls werden von derselben fast eben so gut absorbirt als von der schwarzen; eine stärkere Diffusion und eine geringere Absorption erleiden die Strahlen des glühenden Platins, und dieses Verhältniß ändert sich noch mehr für die Locatelli'sche Lampe. Die weiße Fläche verhält sich demnach gegen die Wärmestrahlen wie eine farbige gegen das Licht; sie zerstreut nämlich Strahlen gewisser Wärmefarben, während sie andere Wärmestrahlen nicht zerstreut, sondern absorbirt.

199 **Polarisation der Wärmestrahlen.** Melloni hat die Polarisation der strahlenden Wärme durch folgenden Versuch nachgewiesen. An jedem Ende einer metallenen Röhre war ein Ring drehbar, welcher eine Säule von 8 bis 10 ganz dünnen Glimmerblättchen trägt, die so auf einander gelegt sind, daß die Ebene der optischen Axen für alle diese Blättchen dieselbe Lage hat; vor dieser Röhre befand sich eine Steinsalzlinse, in deren Brennpunkte die Wärmequelle aufgestellt war, so daß ein Bündel paralleler Wärmestrahlen auf die erste Glimmersäule fiel; auf der anderen Seite der Röhre war die thermoelektrische Säule aufgestellt. Je nachdem die Ringe mit den Glimmersäulen um die Axe der Röhre gedreht wurden, konnte man die Glimmersäulen nach Belieben so stellen, daß ihre Polarisationsebenen parallel waren, oder daß sie sich rechtwinklig kreuzten. Außerdem war aber auch noch die Einrichtung getroffen, daß man die Neigung der Glimmersäule gegen die Axe der Röhre ändern konnte.

Die Wärmemenge, welche durch die beiden Glimmersäulen hindurchgeht, ist nun sehr ungleich, je nachdem die Polarisationsebenen der beiden Glimmersäulen parallel oder gekreuzt sind, wie man dies aus folgender Tabelle ersieht, welche die Resultate einer der zahlreichen von Melloni über die Polarisation der strahlenden Wärme angestellten Versuchsreihen enthält. Jede der beiden Glimmersäulen war bei dieser Versuchsreihe aus 20 Glimmerblättchen zusammengesetzt.

Neigung der Säulen gegen die Richtung der durchgehenden Strahlen.	Ablenkende Kraft der durchgelassenen Wärmestrahlen für	
	parallele Säulen.	gekreuzte Säulen.
45°	26,5	14,9
43	28,5	14,3
41	30,2	13,3
39	31,9	16,2
37	32,5	10,8
35	32,9	9,3
33	32,8	7,8
31	30,8	6,1
29	28,0	4,6
27	24,3	3,3
25	19,9	2,1
23	15	1,4

Wenn die Säulen gekreuzt sind, lassen sie also in der That weniger Wärmestrahlen durch, als wenn sie parallel sind, und zwar wächst der Unterschied um so mehr, je mehr sich die Ebene der Glimmerblättchen der Richtung der durchgehenden Wärmestrahlen nähert; die Glimmersäulen polarisiren also die Wärmestrahlen durch Brechung um so vollständiger, je schräger sie hindurchgehen.

Forbes, welcher die ersten Versuche über die Polarisation der Schluß strahlenden Wärme angestellt hatte, glaubte aus seinen Beobachtungen den ziehen zu müssen, daß die Wärmestrahlen verschiedener Wärmequellen ungleich polarisirbar seyen, was nach Melloni's Versuchen durchaus nicht der Fall ist.

Auch durch Turmalinplatten lassen sich die Wärmestrahlen polarisiren, und ein zwischen die beiden Glimmersäulen gebrachtes Glimmerblättchen zeigt die Erscheinungen der Depolarisation der Wärmestrahlen ganz in der Art, wie eine doppeltbrechende Krystallplatte, zwischen die gekreuzten Spiegel des Polarisationsapparates gebracht, das Gesichtsfeld wieder hell machen kann; daraus geht denn hervor, daß die strahlende Wärme auch der doppelten Brechung fähig ist. Ohne über die Gränzen eines Lehrbuchs hinauszugehen, dürfen wir jedoch diesen interessanten Gegenstand nicht weiter verfolgen.

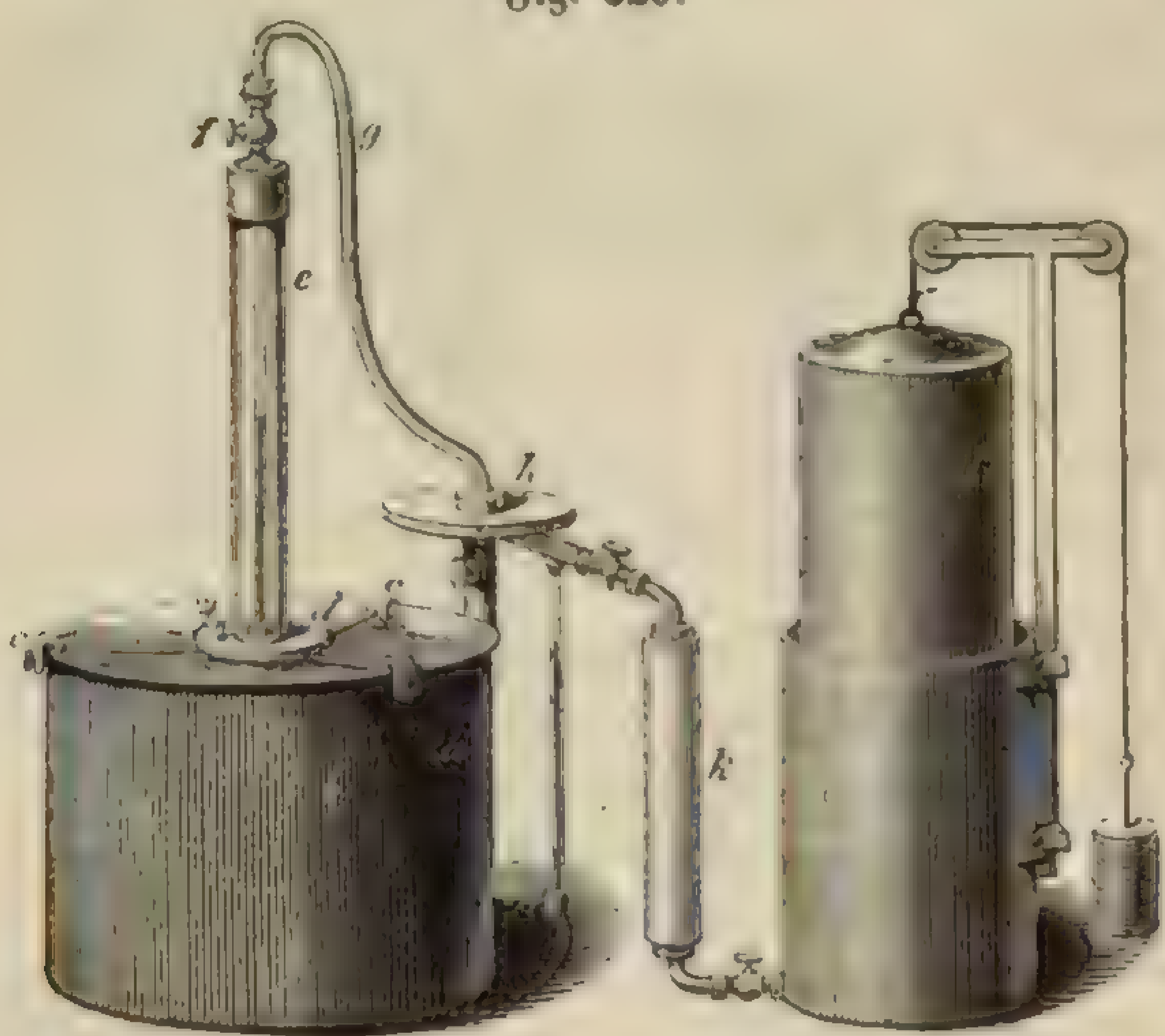
Interferenzerscheinungen der strahlenden Wärme hat man bis jetzt noch nicht nachweisen können.

Gesetze des Erkaltens. Seit Newton, welcher zuerst einige Grund- 200
sätze über das Erkalten der Körper aufgestellt hatte, sind von vielen Gelehrten experimentale und mathematische Untersuchungen angestellt worden, doch blieb die Frage von unüberwindlichen Schwierigkeiten umgeben, bis Dulong und

Petit sie vollständig lösten. Ihre Arbeit wurde im Jahre 1818 von der Akademie der Wissenschaften zu Paris gekrönt.

Der Apparat, den sie zu ihren Versuchen anwandten, ist Fig. 529 abgebildet; das kupferne Gefäß *a* ist mit Wasser angefüllt, welches durch fortwährende Bewegung und Erneuerung auf constanter Temperatur erhalten wird; *b* ist ein Ballon von Kupfer, welcher 30cm Durchmesser hat und innen geschwärzt ist; er ist in das Wasserbad eingesenkt und durch die Träger *c* gehalten. Auf den breiten wohl abgeschliffenen Rand des Ballons wird eine vollkommen ebene Platte *d* von dickem Glase aufgesetzt, auf welche dann eine weite Glasröhre ganz so aufgesetzt wird, wie eine Glasglocke auf den Teller der Luftpumpe. Diese Röhre ist oben mit einem Hahn *f* versehen und durch die Bleiröhre *g* mit einer Luftpumpe in Verbindung gesetzt, von welcher in unserer Figur nur der Teller *h* gezeichnet ist. Das Rohr *k* ist mit Chlorcalcium gefüllt, welches dazu dient, das aus dem Gasometer *l* kommende Gas zu trocknen, wenn man Versuche über das Erkalten in verschiedenen Gasen anstellen will. Die Körper, welche man in diesem Apparate erkalten läßt, sind große Thermometer mit kugelförmigem Gefäße von 3 bis 6 Centimeter Durchmesser. Diese Thermometer sind mittelst eines Korkstopfens in der Glasplatte *d* befestigt und können mit dieser abgehoben und bis auf 100, 200 oder 300° erwärmt werden.

Fig. 529.



Wenn das Thermometer bis auf die gehörige Temperatur erwärmt ist, wird es rasch in den Ballon gebracht, die Röhre *e* aufgesetzt und die Luft rasch ausgepumpt. Das Thermometer sinkt nun fortwährend, und man beobachtet in mehr oder weniger nahe auf einander folgenden Momenten die Temperaturabnahme, indem man zugleich die einer jeden Temperaturabnahme entsprechende Zeit mit Hülfe einer Uhr bestimmt.

Auf diese Weise haben Dulong und Petit viele Versuche ausgeführt. Die folgende Tabelle enthält die Resultate einer solchen Versuchsreihe, bei welcher stets dasselbe Thermometer angewandt wurde, während die Temperatur des Wasserbades und der Hülle *b* abgeändert wurde.

Temperaturüberschuß des Thermometers.	Geschwindigkeit des Erkaltens.				
	Hülle von 0°.	Hülle von 20°.	Hülle von 40°.	Hülle von 60°.	Hülle von 80°.
240°	10,69°	12,40°	14,35°	»	»
220	8,81	10,41	11,98	»	»
200	7,40	8,58	10,01	11,64°	13,45°
180	6,10	7,04	8,20	9,55	11,05
160	4,89	5,67	6,61	7,68	8,95
140	3,88	4,57	5,32	6,14	7,19
120	3,02	3,56	4,15	4,84	5,64
100	2,30	2,74	3,16	3,68	4,29
80	1,74	1,99	2,30	2,73	3,19
60	»	1,40	1,62	1,88	2,17

Unter Geschwindigkeit des Erkaltens ist immer die Temperaturerniedrigung zu verstehen, welche das Thermometer während einer Minute erleidet. Wenn z. B. die Hülle eine Temperatur von 0°, das Thermometer aber eine um 240° höhere Temperatur hat, so sinkt es in einer Minute um 10,69°; wenn aber das Thermometer auf 100° erkaltet ist, so nimmt seine Temperatur in einer Minute nur noch um 2,3° ab.

Newton hatte geglaubt, daß der Wärmeverlust eines Körpers in jedem Augenblicke seinem Temperaturüberschusse proportional sey; die oben angeführte Versuchsreihe zeigt aber, daß dies nicht der Fall ist.

Wenn das Thermometer bei einem Temperaturüberschusse von 80° in einer Minute um 1,74° erkaltet, so müßte es nach dem Newton'schen Gesetze bei einem Temperaturüberschusse von 160° in einer Minute um 3,48° und bei 240° in einer Minute um 5,22° erkalten, während nach den Dulong'schen Versuchen bei einem Temperaturüberschusse von 160 und 240° die Erkaltung weit rascher vor sich geht.

Das Newton'sche Gesetz ist nur annähernd richtig, so lange der Temperaturüberschuß nur 40 bis 50° beträgt; die Erkaltungsgeschwindigkeit wächst in einem weit rascheren Verhältnisse als der entsprechende Temperaturüberschuß.

Man sieht auch aus obiger Tabelle, daß bei gleichem Temperaturüberschusse die Geschwindigkeit des Erkaltens noch von der Temperatur der Hülle abhängig ist. Wenn z. B. die Hülle 80° warm ist, so ist bei gleichem Temperaturüberschusse die Geschwindigkeit des Erkaltens fast doppelt so groß als bei einer Hülle von 0°.

Versuche, welche mit Thermometern angestellt wurden, deren Kugeln verschiedene Durchmesser hatten, ergaben das Resultat, daß sich die Erkaltungsge-

schwindigkeit umgekehrt wie der Durchmesser verhält; daß die Erkaltungsgeschwindigkeit von der Natur der Oberfläche abhängt, versteht sich von selbst.

Wenn der erkaltende Körper ringsum von Luft oder irgend einem anderen Gas umgeben ist, so verliert er seine Wärme aus zwei Ursachen, nämlich durch Strahlung nach denselben Gesetzen wie im leeren Raume und durch die Berührung mit dem Gas, welches sich durch das Aufwärtsströmen der erwärmten Theilchen stets erneuert.

201 **Verbreitung der Wärme durch Leitung.** Nicht allein durch Strahlung, sondern auch bei unmittelbarer Berührung kann die Wärme von einem Körper zum anderen übergehen und sich alsdann durch seine ganze Masse hindurch verbreiten; doch findet in Beziehung auf die Leichtigkeit, mit welcher die Wärme in einen Körper übergeht und sich durch seine Masse verbreitet, eine große Ungleichheit zwischen verschiedenen Körpern Statt; in manchen verbreitet sich die Wärme außerordentlich leicht, während in anderen die Wärme weniger leicht von einem Theilchen zum anderen übergeht. Ein brennendes Schwefelhölzchen kann man zwischen den Fingern halten, ohne nur eine Temperaturerhöhung des Holzes zu fühlen; die hohe Temperatur des brennenden Endes theilt sich also nicht so leicht der übrigen Masse des Holzes mit, das Holz ist ein schlechter Wärmeleiter; einen gleichlangen Metalldraht aber, den man an dem einen Ende glühend gemacht hat, kann man am anderen Ende nicht anfassen, ohne sich zu verbrennen, die Wärme verbreitet sich also leicht von dem glühenden Ende aus durch das ganze Stäbchen, das Metall ist also ein guter Wärmeleiter.

Um zu zeigen, wie ungleich die Fähigkeit verschiedener Körper ist, die Wärme fortzuleiten, kann man den Fig. 530 dargestellten, von Ingenhouß angegebenen Apparat anwenden. In die eine Seitenwand eines Kastens von Blech sind mehrere, aus den zu vergleichenden Substanzen verfertigte Stäbchen eingesteckt, welche sämmtlich gleichen Durchmesser haben müssen und sämmtlich mit einer Schicht von Wachs überzogen sind; wenn man nun kochendes Wasser oder heißes Oel in den Kasten gießt, so wird die Wärme auch mehr oder weniger weit in die Stäbchen vordringen und den Wachsüberzug schmelzen. Nehmen wir an, das eine Stäbchen sey von Kupfer, eines von Eisen, ein drittes von Blei, das vierte von Glas, das letzte von Holz, so wird die Wachsschicht des Kupferstäbchens schon vollständig bis an's Ende geschmolzen seyn, während bei allen anderen Stäbchen die Schmelzung des Wachses noch nicht so weit vorgeschritten ist; das Kupfer ist also unter diesen fünf Körpern der beste Wärmeleiter. Für das Eisenstäbchen schreitet die Schmelzung des Wachses rascher voran als für das Bleistäbchen, und während das Wachs auf dem Kupferstabe ganz weggeschmolzen ist, ist die Wachsschicht auf dem Glasstabe nur auf eine sehr unbedeutende Strecke geschmolzen, an dem Holzstäbchen ist aber kaum ein Anfang des Schmelzens wahrzunehmen, das Holz ist also in der That unter diesen Körpern der schlechteste Wärmeleiter.

Fig. 530.

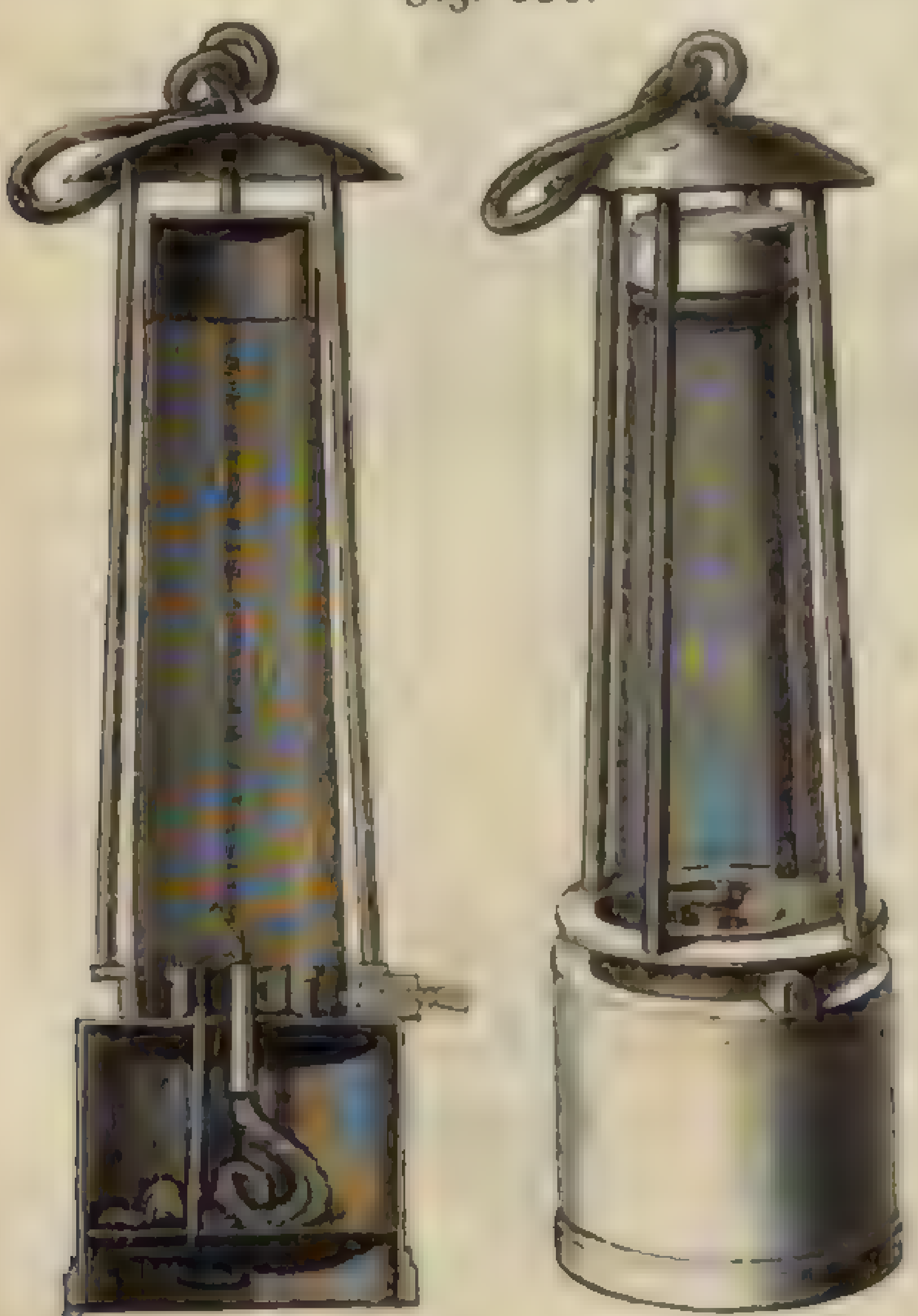


Unter allen Körpern sind die Metalle die besten, Asche, Seide, Haare, Stroh, Wolle u. s. w., überhaupt die lockereren Körper, die schlechtesten Wärmeleiter.

Im praktischen Leben machen wir von der guten oder schlechten Wärmeleitungsfähigkeit verschiedener Körper zahlreiche Anwendungen. Gegenstände, die man vor der Erkaltung schützen will, umgiebt man mit schlechten Wärmeleitern; man umwickelt Bäume und Sträuche des Winters mit Stroh, um sie vor dem Erfrieren zu schützen; unsere Kleider halten warm, weil sie aus schlechten Wärmeleitern verfertigt sind. In einem kupfernen Gefäße bringt man unter sonst gleichen Umständen eine Flüssigkeit weit eher in's Kochen als in einem Porzellangefäße von derselben Wanddicke.

Hält man ein Drahtgewebe, welches nicht weniger als 400 bis 500 Maschen auf den Quadratzoll enthält, in eine Weingeistflamme, so geht die Flamme nicht durch, sie scheint durch das Drahtnetz wie abgeschnitten. Es ist dies eine Folge davon, daß das Drahtnetz wegen der guten Wärmeleitungsfähigkeit des Metalls so viel Wärme wegführt, daß oberhalb des Drahtnetzes nicht mehr die zur Entzündung der noch unverbrannten Gase nothwendige Wärme vorhanden ist. Darauf gründet sich Davy's Sicherheitslampe, Fig. 531. Es ist dies eine einfache Oellampe, deren Flamme von einem cylindrisch gebogenen Drahtnetz umgeben ist; der obere Theil des Cylinders ist durch einen Deckel von Messingblech geschlossen. Durch dieses Drahtnetz pflanzt sich nun die Verbrennung nicht nach außen fort, wenn man auch in eine mit Kohlenwasserstoff beladene Atmosphäre kommt, wie sie sich öfters in Kohlenbergwerken findet, obgleich das in's Innere des Drahtcylinders eingedrungene Gas mit blauer Flamme brennt.

Fig. 531.



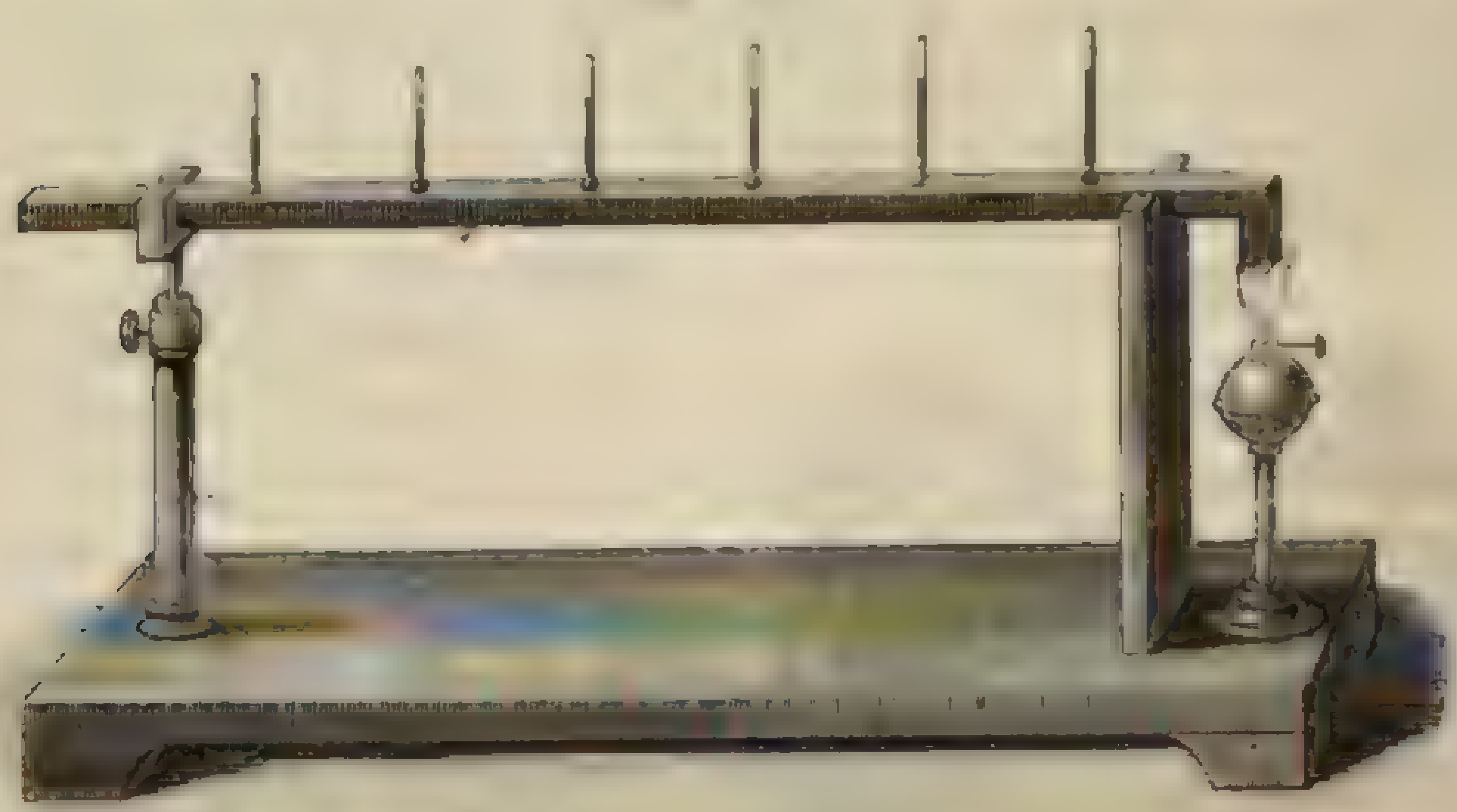
Wenn das eine Ende eines Metallstabes mit einer constanten Wärmequelle in Berührung gebracht wird, so erwärmt sich der ganze Stab allmälig mehr und mehr, doch wird seine Temperatur am anderen Ende nie so hoch steigen können, als an der unmittelbar erwärmten Stelle. Wenn der Stab über eine gewisse Zeit hinaus mit der Wärmequelle in Berührung bleibt, so steigt seine Temperatur an keiner Stelle weiter, sondern es tritt ein Gleichgewichtszustand ein, bei welchem die Temperatur des Stabes mit der Entfernung von der Quelle immer geringer wird.

Denken wir uns den Stab seiner ganzen Länge nach durch Querschnitte in

ganz dünne Scheibchen zerlegt, so wird ein Gleichgewicht der Erwärmung stattfinden, wenn jedes Scheibchen in jedem Augenblicke eben so viel Wärme von der Wärmequelle her aufnimmt, als es wieder abgiebt. Nun aber giebt jedes Scheibchen nicht nur Wärme an das nächstfolgende ab, sondern es verliert auch seitwärts Wärme an die Umgebung, jede folgende Schicht des Metallstabs empfängt also offenbar weniger Wärme als die vorhergehende, und somit ist klar, daß die Erwärmung des Stabes an verschiedenen Stellen um so geringer seyn wird, je weiter sie von der Wärmequelle entfernt sind.

Diese Abnahme der Temperatur mit der Entfernung von der Wärmequelle übersieht man sehr gut in folgendem von Despretz aufgestellten Versuche, Fig. 532. In einer vierseitigen Metallstange, an welcher jede Seite des

Fig. 532.



Querschnitts 21 Millimeter betrug, waren von Decimeter zu Decimeter Löcher von 6^{mm} Durchmesser und 14^{mm} Tiefe angebracht. Diese Löcher waren mit Quecksilber ausgefüllt, und in dieses waren die zur Beobachtung der Temperatur dienenden Thermometer eingesenkt. Das eine Ende des horizontal liegenden Metallstabes wurde durch eine Weingeistlampe erwärmt. Es dauerte in der Regel zwei bis drei Stunden, bis die Temperatur des Stabes ihren Gleichgewichtszustand erreicht hatte. Ein Stab von Kupfer gab folgende Resultate:

Entfernung der Thermometer von der Wärmequelle.	Erhöhung der Temperatur der Thermometer über die Temperatur der umgebenden Luft.
100^{mm}	66,4°
200	46,3
300	32,6
400	24,5
500	18,6
600	16,2

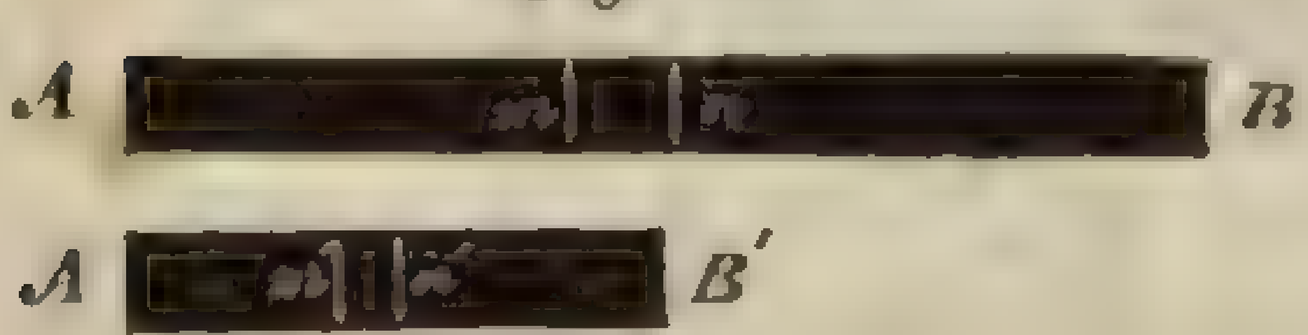
Man sieht hieraus, daß der Temperaturüberschuß jedes folgenden Thermometers 1,4mal geringer ist als für das vorhergehende; wenn also die Entfer-

nungen von der Wärmequelle in arithmetischer Reihe wachsen, so nehmen die entsprechenden Temperaturerhöhungen in geometrischer Reihe ab. Diese Regelmäßigkeit der Temperaturabnahme findet jedoch bei schlechteren Wärmeleitern nicht mehr Statt.

Nehmen wir an, es gäbe ein anderes Metall, welches die Wärme in einem solchen Verhältnisse schlechter leitet als das Kupfer, daß, wenn man mit einem Stabe von denselben Dimensionen denselben Versuch anstellt, alle Thermometer nur einen halb so großen Temperaturüberschuß zeigten, so würde offenbar der Temperaturüberschuß eines jeden Querschnittes des schlechter leitenden Stabes gerade eben so groß seyn, als der Temperaturüberschuß eines doppelt so weit von der Wärmequelle entfernten Querschnittes im Kupferstabe; und wenn man aus dem schlechter leitenden Metalle einen Stab machte, welcher bei sonst gleichen Dimensionen nur halb so lang ist als der Kupferstab, so würden die Enden beider Stäbe gleiche Temperatur zeigen.

In Fig. 533 möge AB den Kupferstab, $A'B'$ den schlechter leitenden Metallstab von halber Länge darstellen; wenn die Enden A und A' mit einer und

Fig. 533.



derselben Wärmequelle in Berührung sind, so werden nach unserer Voraussetzung die Enden B und B' auch gleiche Temperatur haben, wenn die Temperatur an allen Stellen der beiden Stäbe stationär geworden ist. Nehmen wir an, der Querschnitt n' liege halb so weit von B' als n von B, so werden auch die Temperaturen der Querschnitte n und n' gleich seyn; weil aber nB noch einmal so groß ist als $n'B'$, so wird das Ende nB des Kupferstabes in gleicher Zeit doppelt so viel Wärme an die Umgebung ausstrahlen als das Endstück $n'B'$ des anderen Stabes; in gleichen Zeiten muß also dem Ende nB des Kupferstabes doppelt so viel Wärme zugeführt werden, als dem Ende $n'B'$ des anderen Stabes. Wenn ferner die Länge mn doppelt so groß ist als $m'n'$, so werden auch die Schichten m im einen und m' im anderen Stabe gleiche Temperatur haben; und wenn in gleichen Zeiten durch das Stück mn des Kupferstabes dieselbe Wärmemenge hindurchginge wie durch das Stück $m'n'$ des anderen Stabes, so würde das Wärmeleitungsvermögen des Kupfers offenbar doppelt so groß seyn als das des anderen Metalls. Nun geht aber durch das Stück mn des Kupferstabes in derselben Zeit doppelt soviel Wärme hindurch als durch das Stück $m'n'$ des anderen Stabes, weil ja das Ende nB des Kupferstabes in gleichen Zeiten doppelt so viel Wärme ausstrahlt als das Ende $n'B'$; folglich würde für unseren Fall die Wärmeleitungsfähigkeit des Kupfers 4mal so groß seyn als die des anderen Metalls.

Wenn wir diese Betrachtungsweise allgemeiner machen, so kommen wir zu dem Schlusse, daß für Stäbe verschiedener Metalle von gleichen Dimensionen die Wärmeleitungsfähigkeit sich verhält wie das Quadrat der Entfernungen von der Wärmequelle, in welchen man unter

sonst gleichen Umständen gleiche Temperaturüberschüsse beobachtet.

Auf diese Weise hat Despretz folgende Verhältnißzahlen für das Wärmeleitungsvermögen der Metalle gefunden:

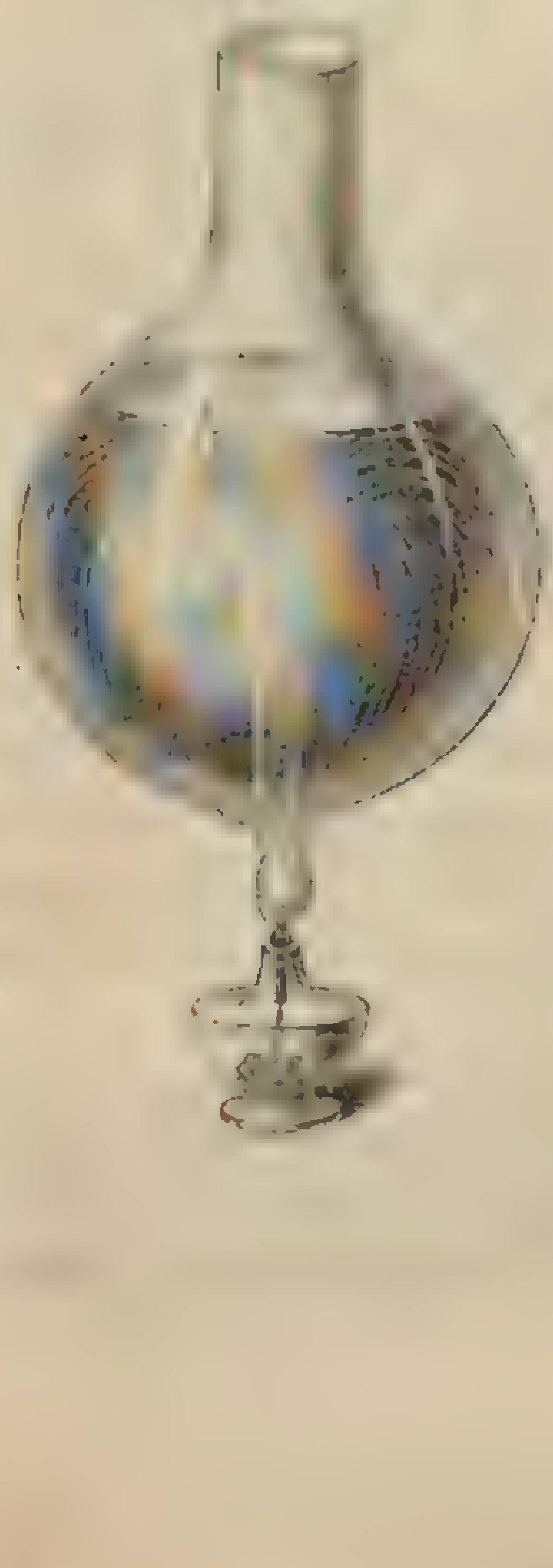
Gold	1000	Eisen	374
Platin . . .	981	Zink	363
Silber . . .	973	Zinn	303
Kupfer . . .	898	Blei	180.

Man nimmt gewöhnlich für die Leitungsfähigkeit des Marmors den Werth 23, für Porzellan den Werth 12 u. s. w.; doch ist die Richtigkeit dieser Werthe sehr zweifelhaft, denn die oben angeführte Bestimmungsmethode läßt sich hier nicht mehr mit Zuversicht anwenden, weil bei diesen sehr schlechten Wärmeleitern der Temperaturüberschuß nicht nach dem Gesetze abnimmt, wie dies bei guten Wärmeleitern der Fall ist.

Wenn die eben angedeutete Bestimmungsmethode anwendbar seyn soll, so muß das Ausstrahlungsvermögen der Oberflächen stets dasselbe seyn; man überzieht deshalb die zum Versuche bestimmten Metallstäbe mit Kienruß

202 **Wärmeleitungsfähigkeit der Flüssigkeiten und Gase.** In den Flüssigkeiten verbreitet sich die Wärme meistens durch Strömungen, welche dadurch entstehen, daß die erwärmten Theilchen wegen ihrer geringeren Dichtigkeit immer in die Höhe steigen. Man kann diese Strömungen leicht sichtbar machen, wenn man Sägespäne in Wasser wirft, welches sich in einem Glasgefäße befindet, und dann von unten her langsam erwärmt, Fig. 534. Man sieht, wie die Strömung in der Mitte aufwärts, an der Seite abwärts gerichtet ist. Wenn man eine Flüssigkeit von oben her erwärmt, so daß das hydrostatische Gleichgewicht nicht gestört wird, so kann sich die Wärme nur in derselben Weise durch die Masse der Flüssigkeit verbreiten, wie dies bei festen Körpern der Fall ist, nämlich durch Leitung, indem die Wärme von einer Schicht zur anderen übergeht. In solchen Fällen verbreitet sich die Wärme aber nur sehr langsam durch die Masse der Flüssigkeit, die Flüssigkeiten sind also sehr schlechte Wärmeleiter.

Fig. 534.



Um sich von der schlechten Leitungsfähigkeit der Flüssigkeiten zu überzeugen, braucht man nur die Kugel eines Thermometers in kaltes Wasser zu tauchen und dann heißes Oel auf das Wasser zu gießen; man wird selbst in den obersten Wasserschichten kaum eine Temperaturerhöhung wahrnehmen können.

Despretz hat die Leitungsfähigkeit des Wassers bestimmt, indem er Wassersäulen von 1 Me-

ter Höhe und 0,2 bis 0,4 Meter Durchmesser von oben her durch beständige Erneuerung von heißem Wasser erwärmte. Es dauerte ungefähr 30 Stunden, bis die Temperatur der Wassersäule an allen Stellen stabil wurde. Aus diesen Versuchen folgt, daß die Wärmeleitungsfähigkeit des Wassers ungefähr 95mal geringer ist als die des Kupfers; in der obigen Tabelle müßte also die Leitungsfähigkeit des Wassers durch 9 bis 10 ausgedrückt werden.

Die Luft und die Gase überhaupt sind ebenfalls sehr schlechte Wärmeleiter, doch läßt sich ihr Wärmeleitungsvermögen durch Thermometer, die man etwa in verschiedenen Schichten der zu untersuchenden Luftmasse anbringen wollte, wegen der Wärmestrahlung nicht ermitteln. Daß jedoch die Gase überhaupt, und die Luft insbesondere schlechte Wärmeleiter sind, geht daraus hervor, daß Körper, welche von allen Seiten von Luftschichten umgeben sind, nur sehr langsam erwärmt und erkaltet werden können, wenn nur der Wechsel der Luftschichten verhindert wird. Dadurch erklärt sich die Wirksamkeit der doppelten Fenster und der doppelten Thüren, um ein Zimmer warm zu halten. Das schlechte Leitungsvermögen lockerer Körper, wie Stroh, Wolle u. s. w., rührt größtentheils daher, daß die zahllosen Zwischenräume mit Luft ausgefüllt sind. Solche Körper, von denen wir sagen, daß sie warm halten, wie z. B. unsere Kleider, Stroh u. s. w., sind nicht selbst warm, ihre Wirkung beruht nur auf ihrer schlechten Wärmeleitungsfähigkeit; wenn man Eis in solche Körper einhüllt, so verhindern sie das Schmelzen desselben, weil sie die äußere Wärme abhalten.

Fünftes Kapitel.

Verschiedene Quellen der Wärme.

Wärmeerzeugung durch chemische Verbindungen. Nach der Sonne 203
sind für uns die chemischen Verbindungen, besonders aber die Verbrennung, die wichtigsten Wärmequellen. Fast jeder chemische Proceß ist von einer Wärmeentwickelung begleitet; Heß hat versucht, die Gesetze dieser Wärmentwickelung zu ermitteln.

Bekanntlich wird Wärme frei, wenn man Schwefelsäurehydrat (englische Schwefelsäure $\dot{H}\dddot{S}$) mit Wasser mischt. Wenn man das Schwefelsäurehydrat mit 1 Aeq. Wasser mischt, dann ein zweites Aequivalent Wasser zusetzt u. s. w., bis keine merkliche Wärmeentwickelung mehr stattfindet, so ist die Summe der nach und nach frei werdenden Wärmemengen gerade eben so groß wie die Wärmemenge, welche frei wird, wenn man dieselbe Wassermasse nicht nach und nach, sondern auf einmal zusetzt. Daraus schließt Heß, »daß, wenn eine Verbindung stattfindet, die entwickelte Wärmemenge constant sey, mag nun die

Verbindung direct oder indirect und zu wiederholten Malen geschehen.« Dieser Satz wurde auch noch durch andere Versuche bestätigt.

Heß sowohl als auch Graham und Andrews haben noch viele Versuche angestellt über die Wärmeentwickelung bei chemischen Verbindungen, welche auf nassem Wege vor sich gehen. Graham hat vorzugsweise die bei der Hydratbildung aus wasserfreien Salzen, Andrews aber die bei der Salzlösung frei werdende Wärme untersucht. Letzterer ist zu folgenden Resultaten gelangt:

1) Ein Aequivalent verschiedener Säuren erzeugt bei seiner Verbindung mit derselben Basis fast ganz gleiche Wärmemengen.

2) Ein Aequivalent verschiedener Basen bringt bei seiner Verbindung mit derselben Säure nicht immer dieselbe Wärme hervor.

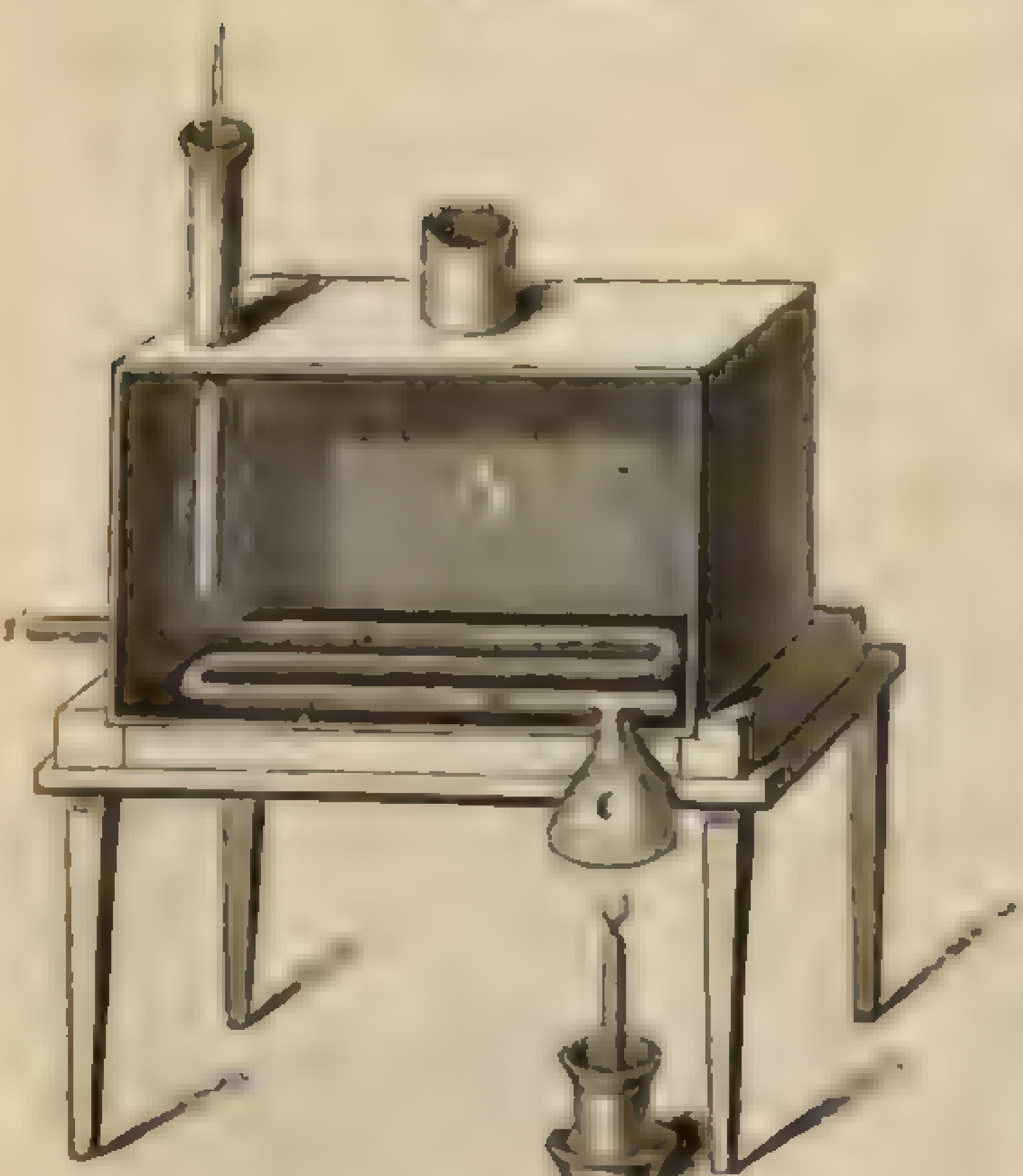
3) Wenn neutrale Salze sich mit Säuren zu sauren Salzen verbinden, so findet keine Temperaturveränderung Statt.

4) Wenn neutrale Salze durch Aufnahme von einer neuen Quantität Basis sich in basische Salze verwandeln, so findet eine Wärmeentwickelung Statt.

Sobald die chemische Verbindung von einer Auflösung eines Körpers begleitet ist, wird es schwer halten, aus dem Versuche bestimmte Resultate abzuleiten, weil man nicht leicht ermitteln kann, welchen Einfluß die Veränderung des Aggregatzustandes hat.

Von ganz besonderer Wichtigkeit ist die Entwickelung der Wärme, welche durch Verbrennung, also durch eine rasche Verbindung der Körper mit Sauerstoff entwickelt wird.

Fig. 535.



Um die durch Verbrennung entwickelte Wärme zu bestimmen, bedient sich Rumford eines Calorimeters, Fig. 535, welches zur Bestimmung der latenten Wärme der Dämpfe dient. Im Rumford'schen Calorimeter ist das Schlangenrohr horizontal, damit die Producte der Verbrennung nicht zu schnell entweichen. Der Eingang in das Schlangenrohr ist durch einen Trichter gebildet, unter welchen die zu verbrennenden Körper gebracht werden. Mit Oel und Alkohol ist der Versuch leicht anzustellen; man füllt sie nämlich in eine kleine Lampe, die man zu Anfange und zu Ende des Versuchs wägt, um die Menge des verbrannten Materials zu erfahren. Die Flamme und die Producte der Verbrennung ziehen durch das Schlangenrohr hindurch und erwärmen das Wasser des Apparates. Aus der Temperaturerhöhung, welche das Wasser mit dem ganzen Apparate erfährt, läßt sich dann die Wärmemenge, welche durch die Verbrennung erzeugt wurde, berechnen; doch darf man dabei die Wärme nicht unberücksichtigt lassen, mit welcher die gasförmigen Producte der Verbrennung aus dem Schlangenrohre austreten.

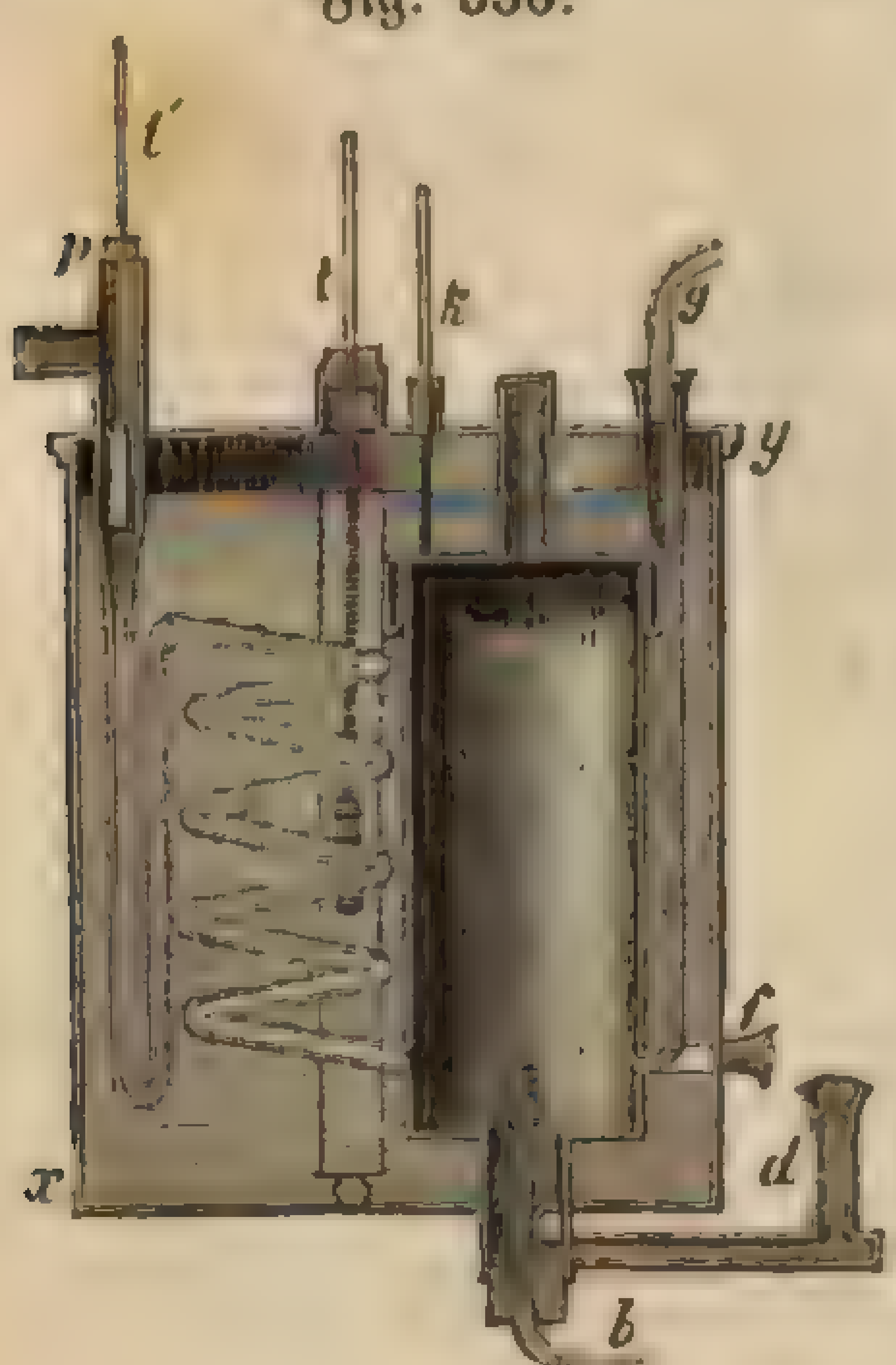
Die folgende Tabelle enthält die Resultate, welche Rumford nach dieser Methode erhalten hat, nebst anderen, welche Lavoisier und Laplace mit ihrem Calorimeter und Despretz durch ein dem Rumford'schen ähnliches Verfahren erhielten.

Namen der verbrannten Körper.	Temperaturerhöhung, welche die Verbrennung von 1 Gramm der Substanz in 1 Kilogramm Wasser hervorbringt.
Wasserstoffgas	23,4° L. L. und D.
Olivenöl	11,17 L. L.
»	9,04 R.
Weißes Wachs	10,50 L. L.
»	9,48 R.
Rüböl	9,31 R.
Talg	8,37 R.
»	7,19 L. L.
Schwefeläther	8,03 R.
Phosphor	7,50 L. L.
Kohle	7,23 L. L. und D.
Alkohol 42° Baumé	6,19 R.
Holz, sehr trocken	4,31 R.

Dulong hatte eine große Arbeit über die durch Verbrennung entwickelte Wärme unternommen, wurde aber leider der Wissenschaft entrissen, noch ehe er sie beendigt hatte. Glücklicher Weise konnte man noch die wichtigsten Resultate sammeln, zu denen er gelangt war.

Der Apparat, dessen er sich zu diesen Untersuchungen bediente, hatte im Wesentlichen folgende Einrichtung. Der Verbrennungsraum *a*, Fig. 536, war eine von dünnem Kupferblech gebildete 25 Centimeter hohe rechteckige Kammer, welche 10 Centimeter lang und 7,5 Centimeter breit und ringsum von Wasser umgeben war, welches sich in einem 11 Liter fassenden Gefäße befand.

Fig. 536.



Durch den Boden des Verbrennungsraumes ragte in denselben eine mit feiner Spitze versehene Röhre *b*, durch welche die zu verbrennenden Gase zuströmten.

Das zur Verbrennung nöthige Sauerstoffgas strömte entweder durch die Röhre *g* oder durch *d* zu.

Flüssige Brennstoffe waren in einer durch einen Stopfen verschlossenen Glasröhre erhalten; ein feiner Docht war in die Flüssigkeit eingetaucht.

Wie die Gase und Flüssigkeiten entzündet wurden, weiß man nicht.

Die festen Brennstoffe wurden auf verschiedene Weise zur Verbrennung gebracht. Eisen wurde zu einer Spirale aufgewickelt; andere Metalle wurden in pulverförmigem Zustande in eine Kapsel von Kupfer oder Platin gebracht; um das Zusammenbacken zu verhindern, wurden sie mit einem hier indifferenten Stoffe gemischt. Ihre Entzündung wurde durch ein Stück Zunder bewirkt.

Da die Kohle sich in dieser Form entzündet, so wurde aus derselben ein Kegel geschnitten, dessen Spitze an einer Weingeistlampe angezündet und dann rasch in den Verbrennungsraum gebracht.

Ein Fenster *f*, welches durch eine Glasplatte verschlossen ist, erlaubte zu sehen, was während des Versuches im Apparate vorging.

Die durch die Verbrennung gebildeten Gase entwichen durch ein Schlangenrohr, an dessen Enden sich eine Erweiterung zur Aufnahme eines Thermometers t' befand. Die Gase treten, nachdem sie ihre Wärme abgegeben haben, durch das Seitenrohr p in ein Gasometer.

Zwei symmetrisch vertheilte Thermometer gaben die Temperatur des Apparates an.

Das Wasser wurde durch einen an der Stange k befestigten Rührer stets in Bewegung gehalten.

Die folgende Tabelle giebt die Resultate dieser Versuche.

Namen der verbrannten Körper.	Temperaturerhöhung, welche in 1 Kilogr. Wasser hervorgebracht wird durch	
	die Verbrennung von 1 Gr. der Substanz.	durch 1 Gr. bei der Verbrennung verzehrten Sauerstoff.
Wasserstoff	34,60	4,32
Sumpfgas	13,35	3,34
Kohlenoxydgas	2,49	4,36
Oelbildendes Gas	12,20	3,56
Absoluter Alkohol	6,96	3,34
Kohle	7,29	2,73
Terpentinöl	11,57	3,51
Schwefeläther	10,04	3,88
Olivenöl	9,86	»
Schwefel	2,60	2,60
Eisen	»	4,33
Zinn	»	4,53
Zinnoxydul	»	4,51
Kupfer	»	2,59
Kupferoxydul	»	2,18
Antimon	»	3,82
Zink	»	5,27
Kobalt	»	3,98
Nickel	»	3,71

Thierische Wärme. Die Temperatur der Blutwärme aller Thiere ist 204
fast immer von der Temperatur des Mittels verschieden, in welchem sie leben. Die Thiere der Polarländer sind stets wärmer als das Eis, auf welchem sie leben, in den Aequatorialgegenden aber sind sie kälter als die glühende Luft, welche sie einathmen. Die Vögel haben nie die Temperatur der Luft, die Fische nie die Temperatur des Wassers, von welchem sie umgeben sind; der thierische Körper hat also seine eigenthümliche Wärme, er muß sie also auch fortwährend erzeugen können. Wir wollen nun der Reihe nach folgende Fragen näher untersuchen: 1) Welches ist die Temperatur des Thierkörpers? 2) Welches sind die Wärmequantitäten, welche er in einer gegebenen Zeit erzeugen kann? 3) Wodurch wird diese Wärme erzeugt?

Die innere Wärme des Menschen scheint für alle Organe dieselbe, und zwar derjenigen gleich zu seyn, auf welche ein kleines Thermometer steigt, wenn man die Kugel unter die Zunge bringt und den Mund schließt, bis es nicht mehr steigt; diese Temperatur ist 37°. Alter und Klima, Gesundheit oder Krankheit können diese Temperatur nur unbedeutend ändern. John Davy hat auf seiner Reise von England nach der Insel Ceylon in dieser Beziehung eine Reihe merkwürdiger Beobachtungen gemacht. Indem er unter verschiedenen Breiten die Temperatur mehrerer Leute der Schiffsmannschaft bestimmte, fand er, daß sie in der heißen Zone allerdings etwas stieg; diese Temperaturzunahme war aber unbedeutend, sie betrug nicht ganz 1°. Davy bestimmte auch die Temperatur der Eingeborenen von Ceylon, der Hottentotten, der Neger auf Madagascar und Mozambique, der Albinos, der Malaien, der Buddhapriester, welche nur Gemüse, und der Vaidas, welche nur Fleisch essen. Alle diese Temperaturen waren nur wenig verschieden; die niedrigste von allen war die von zwei Hottentotten auf dem Cap der guten Hoffnung, sie betrug 35,8°; die höchste war die von zwei europäischen zu Colombo geborenen Kindern, von denen das eine 8, das andere 12 Jahr alt war, sie betrug 38,9°.

Die folgende Tabelle enthält die Resultate der von Davy an Thieren angestellten Beobachtungen:

Namen der Thiere.	Ihre Temperatur.	Temperatur der Umgebung.	Beobachtungsort.
		Säugethiere:	
Affe	+ 39,7°C.	30° C.	Colombo
Fledermaus	37,8	28	»
»	38,3	28	»
Vampir	37,8	21	»
Eichhörnchen	38,8	27	»
Gemeine Ratte	38,8	26,5	»
Gemeiner Hase	37,8	26,5	»
Ichneumon	39,4	27	»
Tiger	37,2	26,5	»
Hund	39,0	»	Candy
»	39,6	»	»
Schakal	38,3	29	Colombo
Gemeine Katze	38,3	15	London
»	38,9	26	Candy
Panther	38,9	27	Colombo
Pferd (arabische Race)	37,5	26	Candy
Hammel	39,3—40,0	Im Sommer	Schottland
»	39,5—40,0	19	Cap der guten Hoffnung
»	40,0—40,6	26	Colombo
Bock	39,5	26	»
Ziege	40,0	26	»
Ochse	38,9	Im Sommer	Edinburg
»	38,9	26	Candy
Elephant	37,5	26,7	Colombo
Meerschwein	37,8	23,7	Im Meere 8° 23′ n. B.
		Vögel:	
Habicht	37,2	25,3	Colombo
Papagay	41,1	24	Candy
Krähe	42,1	31,5	Ceylon
Drossel	42,8	15,5	London
Sperling	42,1	26,6	Candy
Taube	42,1	15,5	London
»	43,3	25,5	»
Gemeines Huhn	42,5	4,5	Edinburg
»	43,3	25,5	Colombo
Hahn	43,9	25,5	»
Sturmvogel	40,3	26	Auf dem Meere 2° 3′ n. B.
Gans	41,7	25,5	Colombo
Canarienvogel	43,9	25,5	»

Namen der Thiere.	Ihre Temperatur.	Temperatur der Umgebung.	Beobachtungsort.
		Amphibien:	
Schildkröte	+ 28,9 C.	26 C.	Im Meere 2° 27′ n. B.
Geometrische Schildkröte .	16,9	16	Cap der guten Hoffnung
Schlange	32,2	28,3	Colombo
»	29,2	28,1	»
		Fische:	
Hayfisch	25	23,7	Im Meere 8° 23′ n. B.
Forelle	14,4	13,3	Edinburg
Fliegender Fisch	25,5	25,3	Im Meere 6° 57′ n. B.
		Mollusken und Crustaceen:	
Auster	27,8	27,8	Colombo
Krebs	26,1	26,7	»
Krabbe	22,2	22,2	Candy
		Insecten:	
Blatta orientalis	23,3	22,8	Candy
Wespe	24,4	23,9	»
Scorpion	25,3	26,1	»
Julus	25,8	26,6	»

Man sieht aus dieser Zusammenstellung, daß die Blutwärme der Vögel größer ist als aller anderen Thiere; die Säugethiere nehmen den zweiten Rang ein. Bei diesen beiden Thierklassen ist die Blutwärme von der Temperatur der Umgebung unabhängig, bei den übrigen Thierklassen aber, den Amphibien, Fischen u. s. w., ist die Temperatur des Körpers nur wenig von der Temperatur der Umgebung verschieden.

Welches ist nun die Quelle der thierischen Wärme? Die Luft, welche wir einathmen, wird in derselben Weise verändert wie die Luft, welche zur Verbrennung gedient hat; der Sauerstoff der Luft wird in Kohlensäure verwandelt, es findet also im Körper eine förmliche Verbrennung Statt. Seit Lavoisier diese Entdeckung gemacht hatte, war die Quelle der thierischen Wärme kein Geheimniß mehr.

Durch die Speisen wird dem Körper der Kohlenstoff zugeführt, welcher sich im Körper mit dem Sauerstoffe der eingeathmeten Luft verbindet; durch die Oxydation des Kohlenstoffs im Thierkörper muß aber nothwendig dieselbe Wärmemenge erzeugt werden, wie bei der schnellen Verbrennung des Kohlenstoffs.

In einer kalten Umgebung verliert der Mensch und das Thier stets mehr Wärme als in wärmerer; damit nun die Blutwärme bei den Säugethieren und

Vögeln von der Temperatur der Luft unabhängig erhalten werde, muß nothwendig im Körper mehr Wärme erzeugt werden, wenn ihm in jedem Augenblicke eine größere Wärmemenge entzogen wird, wenn er also in kalter Luft lebt, als wenn er in wärmerer Umgebung nur wenig Wärme nach außen hin abgiebt. Um aber in gleichen Zeiten mehr Wärme erzeugen zu können, muß dem Körper mehr Kohlenstoff zugeführt werden, durch dessen Oxydation die Wärme erzeugt wird, wie man ja auch bei kaltem Wetter mehr Brennmaterial im Ofen verbrennen muß, um ein Zimmer auf einer bestimmten constanten Temperatur zu erhalten, als bei gelinder Kälte. Dadurch erklärt sich nun, warum der Nordländer mehr Speisen und besonders mehr kohlenstoffhaltige Speisen zu sich nehmen muß, als der Bewohner der heißen Zone.

Die Wärmemenge, welche ein Thier in einer gegebenen Zeit entwickelt, hat Dulong auf folgende Weise zu bestimmen gesucht. Das Thier wurde in einen Kasten von dünnem Kupferblech gebracht, welcher in eine große Masse Wasser eingetaucht war. Die durch das Thier erzeugte Wärme wurde durch die Temperaturerhöhung des Wassers bestimmt, die zum Athmen nöthige Luft wurde durch ein Gasometer zugeführt, und die Producte der Respiration wurden gesammelt und analysirt. Ein solcher Versuch dauerte ungefähr zwei Stunden; es zeigte sich, daß die ausgeathmete Luft feuchter war, daß ein Theil des Sauerstoffs durch Kohlensäure ersetzt und daß außerdem noch ein Theil Sauerstoff verschwunden war. Der Stickstoffgehalt der Luft hatte keine Veränderung erlitten. Nimmt man nun an, daß der Sauerstoff, welcher in Kohlensäure verwandelt worden ist, sich wircklich beim Respirationsprocesse mit Kohlenstoff verbunden hat; nimmt man ferner an, daß der verschwundene Sauerstoff sich mit Wasserstoff zu Wasser verbunden hat, so kann man leicht die Wärmemenge berechnen, welche auf diesem Wege entwickelt wird; dieser Rechnung zufolge werden aber durch die Respiration nur 8 bis 9 Zehntel der Wärme erzeugt, welche das Thier an das Wasser abgegeben hat; es scheint demnach die Respiration nicht die einzige Quelle der thierischen Wärme zu seyn.

Liebig hat aber gezeigt, daß der angeführte Versuch zu diesem Schlusse nicht berechtigt; bei der großen Differenz zwischen der Temperatur des Wassers und der des Thieres ist der Wärmeverlust freilich größer, als man dem verbrauchten Sauerstoffe nach erwarten sollte; man muß bedenken, daß bei der sehr kalten Umgebung die freie Bewegung des Thieres gehindert war, so daß es durch vermehrte Bewegung das Athmen nicht gehörig beschleunigen konnte, daß es sich also in einem unnatürlichen Zustande befand, in welchem es nothwendig frieren mußte, und den es auf die Dauer unmöglich hätte ertragen können.

205 **Wärmeentwickelung durch mechanische Mittel.** Daß durch die Compression der Luft Wärme frei wird, ist schon oben angeführt worden; durch rasche Compression der Luft kann eine sehr bedeutende Temperaturerhöhung bewirkt werden, und darauf gründet sich das pneumatische Feuerzeug. Die Flüssigkeiten, welche sich nur wenig comprimiren lassen, zeigen auch nur eine unbedeutende Temperaturerhöhung. Feste Körper werden durch Compression oft

bedeutend erhitzt, wie man dies beim Hämmern der Metalle und beim Prägen der Münzen beobachten kann. Ob die Temperaturerhöhung fester Körper durch Compression gleichfalls dem Umstande zugeschrieben werden muß, daß mit der größeren Dichtigkeit ihre specifische Wärme geringer wird, daß also ein Theil der Wärme, welche als specifische Wärme in derselben enthalten war, nun bei ihrer Compression als fühlbare Wärme austritt, ist noch nicht mit Sicherheit entschieden.

Welche bedeutenden Temperaturerhöhungen durch Reibung hervorgebracht werden können, ist allgemein bekannt. Ein eiserner Radschuh erhitzt sich oft so, daß er zischt, wenn er mit Wasser in Berührung kommt; trockenes Holz läßt sich durch Reibung entzünden, ja an einem rasch laufenden Schleifsteine von 7 bis 8 Fuß Durchmesser soll ein eiserner Nagel weißglühend werden. Bis jetzt ist man noch nicht im Stande, eine genügende Erklärung dieser Erscheinungen zu geben.

Theoretische Ansichten über die Wärme. Wir haben nun die wichtigsten Gesetze der Wärmeerscheinungen kennen gelernt, ohne daß die Rede davon gewesen wäre, was denn eigentlich die Wärme sey. In dieser Beziehung ist also die Wärmelehre ganz so behandelt worden, wie der erste Theil der Lehre vom Lichte, wo auch die empirischen Gesetze der Spiegelung und Brechung entwickelt wurden, ohne weiter nach dem Wesen des Lichtes zu fragen; eine Theorie aber, aus welcher sich alle Wärmeerscheinungen nicht nur der Art, sondern auch der Größe nach so vollständig ableiten lassen, wie die Lichtphänomene aus der Wellentheorie, fehlt bis jetzt noch. 206

Gewöhnlich stellt man sich die Wärme als einen imponderablen Stoff vor, welcher die Körper durchdringt; diese Vorstellung paßt sich mancher Erscheinung, wie z. B. der Wärmeverbindung, der Wärmecapacität, ganz gut an, sie giebt uns für diese Erscheinung ein ganz gutes Bild, ja bei der für die Wärmelehre gebräuchlichen Terminologie liegt diese Vorstellung zu Grunde. Wenn sich aber auch die Erscheinungen der Wärmecapacität, der latenten Wärme, der Wärmeleitung ganz gut mit der Vorstellung des Wärmestoffs vertragen, so ist es doch auf der anderen Seite höchst unwahrscheinlich, daß es überhaupt imponderable Stoffe im früheren Sinne des Worts gebe; es werden dieselben wohl immer mehr aus der Physik verschwinden, wie es beim Lichte schon der Fall ist. In der Wärmelehre steht der große Schritt, welcher der Einführung der Vibrationstheorie beim Lichte entspricht, wohl am nächsten bevor.

Einige Erscheinungen sind mit der Annahme des Wärmestoffs gar nicht zu vereinigen, z. B. die Wärmestrahlung und die Erzeugung der Wärme durch Reibung.

Die Gesetze der strahlenden Wärme sind denen der Lichtstrahlung so ähnlich, daß die Idee nahe liegt, auch die Wärmestrahlung einer Vibrationsbewegung zuzuschreiben. Wenn aber die strahlende Wärme durch Vibrationen des Aethers sich fortpflanzt, so müßte wohl die fühlbare Wärme durch Vibrationen der materiellen Theile der Körper selbst hervorgebracht werden.

Daß die Wärmeerscheinungen in der That von solchen Vibrationen herrühren, ist höchst wahrscheinlich, obgleich wir noch nicht im Stande sind, alle Erscheinungen der Wärme aus dieser Hypothese nur einigermaßen genügend abzuleiten, und wir die Vorstellung eines Wärmestoffs zur leichteren Darstellung und Uebersicht noch nicht wohl entbehren können.

Um die Wärmeerscheinungen durch Vibrationen zu erklären, müßte man etwa annehmen, daß die Temperatur der Körper mit der Oscillationsamplitude wächst; dadurch würde sich dann auch die Ausdehnung durch Wärme erklären.

Beim Uebergange aus dem festen Zustande in den flüssigen und von diesem in den gasförmigen wird die Anzahl der Vibrationen vermehrt. Bei gleicher Bewegungsgröße ist eine Vergrößerung der Schwingungszahl nur möglich, wenn die Amplitude kleiner wird, und so erklärt sich die Wärmebindung.

Achter Abschnitt.

Meteorologie.

Erstes Kapitel.

Vertheilung der Wärme auf der Erdoberfläche.

Die Erwärmung der Erdoberfläche und der Atmosphäre, durch welche allein 207
das Gedeihen der Pflanzen- und Thierwelt möglich ist, haben wir nur den Strahlen der Sonne zu danken, welche somit als die Quelle alles Lebens auf unserm Planeten betrachtet werden muß. — Wo die Mittagssonne vertical über den Köpfen der Bewohner steht, wo ihre Strahlen unter rechtem Winkel die Erdoberfläche treffen, da entwickelt sich eine üppige Vegetation, wenn eine zweite Bedingung ihrer Existenz, nämlich die Feuchtigkeit, nicht fehlt; wo aber die Sonnenstrahlen stets allzu schräg auffallen, um eine merkliche Wirkung hervorzubringen, da starrt die Natur von ewigem Eise, da hört alles Thier- und Pflanzenleben auf.

Um die Vertheilung der Wärme auf der Oberfläche im Allgemeinen zu übersehen, müssen wir zunächst die Folgen der täglichen und jährlichen Bewegung der Erde untersuchen.

In Folge der jährlichen Bewegung der Erde verändert die Sonne fortwährend ihre scheinbare Stellung am Himmelsgewölbe; der Weg, welchen sie am Himmelsgewölbe während eines Jahres durchläuft, geht durch 12 Sternbilder hindurch, welche den **Thierkreis** bilden.

Denken wir uns das Himmelsgewölbe als eine große Hohlkugel, so bildet die Sonnenbahn auf dieser Hohlkugel einen größten Kreis, welcher bekanntlich den Namen **Ekliptik** führt. Diese Ekliptik fällt nicht mit dem Himmelsäquator zusammen, sie schneidet ihn unter einem Winkel von 23° 28′.

Zweimal im Jahre, am 21. März und am 21. September, passirt die Sonne den Himmelsäquator. Vom März bis zum September befindet sie sich auf der nördlichen, vom September bis zum März auf der südlichen Halbkugel; am 21. Juni erreicht sie ihren nördlichen, am 21. December ihren südlichen Wendepunkt, sie steht am 21. Juni 23° 28′ nördlich, am 21. December 23° 28′ südlich vom Himmelsäquator.

Die Richtung unserer Erdaxe fällt nun mit der Himmelsaxe, die Ebene des Erdäquators mit der des Himmelsäquators zusammen; wenn also die Sonne gerade auf dem Himmelsäquator steht, so treffen ihre Strahlen an jedem Orte des Erdäquators zur Mittagszeit rechtwinklig die Erdoberfläche, während sie die beiden Erdpole nur streifen und die den Polen näher liegenden Gegenden nur sehr schräg treffen.

Denken wir uns parallel mit dem Aequator 23° 28′ nördlich und eben so weit südlich von demselben einen Parallelkreis auf der Erdoberfläche gezogen, so ist ersterer der Wendekreis des Krebses, letzterer der Wendekreis des Steinbocks. Alle Orte, welche auf diesen Wendekreisen liegen, werden einmal im Jahre rechtwinklig von den Sonnenstrahlen getroffen, und zwar ist dies für den Wendekreis des Krebses am 21. Juni, für den Wendekreis des Steinbocks am 21. December der Fall.

Der ganze Erdgürtel, welcher zwischen den beiden Wendekreisen liegt, wird die heiße Zone genannt, weil hier die immer nahe rechtwinklig auffallenden Sonnenstrahlen die kräftigste Wirkung hervorbringen können.

Auf dem Aequator ist die Wärme das ganze Jahr hindurch ziemlich gleichförmig vertheilt, weil ja zweimal im Jahre die Sonnenstrahlen rechtwinklig auf den Boden treffen und weil sie in den Zwischenzeiten auch nicht sehr schräg einfallen.

Je mehr man sich den Wendekreisen nähert, desto merklicher werden die Unterschiede der Temperatur in verschiedenen Zeiten des Jahres, desto deutlicher spricht sich der Charakter der Jahreszeiten aus. Auf den Wendekreisen fallen die Sonnenstrahlen nur einmal des Jahres rechtwinklig auf die Erdoberfläche, und einmal machen sie einen Winkel von 47° mit der Richtung des Bleiloths, sie fallen also schon bedeutend schräg auf; die Temperatur der heißesten und kältesten Jahreszeit, welche ein halbes Jahr auseinander liegen, ist schon ziemlich bedeutend von einander verschieden.

Auf beiden Seiten der heißen Zone, von den Wendekreisen bis zu den Polarkreisen (die Polarkreise sind diejenigen Parallelkreise, für welche der längste Tag gerade 24 Stunden dauert, sie liegen 66° 32′ nördlich und südlich vom Erdäquator) liegen die nördliche und südliche gemäßigte Zone; die vier Jahreszeiten sind in ihnen am entschiedensten ausgesprochen; im Allgemeinen nimmt natürlich die Wärme mit der Entfernung vom Aequator ab.

Um die beiden Pole herum bis zu den Polarkreisen liegen die nördliche und die südliche kalte Zone.

In Folge der Umdrehung der Erde um ihre Axe nimmt die Sonne an der scheinbaren Bewegung aller Gestirne Theil; eine Folge dieser täglichen Bewegung ist bekanntlich die Abwechselung zwischen Tag und Nacht. Nur während des Tages wird die Erdoberfläche durch die Sonnenstrahlen erwärmt, nach Sonnenuntergang strahlt sie Wärme gegen den Himmelsraum aus, ohne daß dieser Verlust ersetzt wird, während des Nachts muß also die Erdoberfläche erkalten.

Unter dem Aequator ist Tag und Nacht das ganze Jahr hindurch gleich;

jeder Tag und jede Nacht dauert 12 Stunden; sobald man sich aber von dem Aequator entfernt, wechselt die Tageslänge mit der Jahreszeit, und dieser Wechsel wird um so auffallender, je mehr man sich den Polen nähert. Die folgende Tabelle enthält die Dauer des längsten Tages für verschiedene geographische Breiten:

Polhöhe.	Dauer des längsten Tages.	Polhöhe.	Dauer des längsten Tages.
0	12 Stunden	64° 50′	21 Stunden
16° 44′	13 »	65° 48′	22 »
30° 48′	14 »	66° 21′	23 »
41° 24′	15 »	66° 32′	24 »
49° 22′	16 »	67° 23′	1 Monat
54° 31′	17 »	69° 50′	2 »
58° 27′	18 »	73° 39′	3 »
61° 19′	19 »	90	6 »
63° 23′	20 »		

Unter dem Aequator kann also der Wechsel der Tageslänge keinen Einfluß auf den Gang der Wärme in verschiedenen Jahreszeiten haben. Da selbst unter den Wendekreisen die Ungleichheit der Tageslänge noch nicht sehr bedeutend ist, so kann also zwischen den Tropen überhaupt der Wechsel der Tageslänge nicht viel die Temperaturunterschiede zwischen der heißen und kalten Jahreszeit vergrößern oder verkleinern; in sehr hohem Grade ist dies aber bei hohen Breiten der Fall.

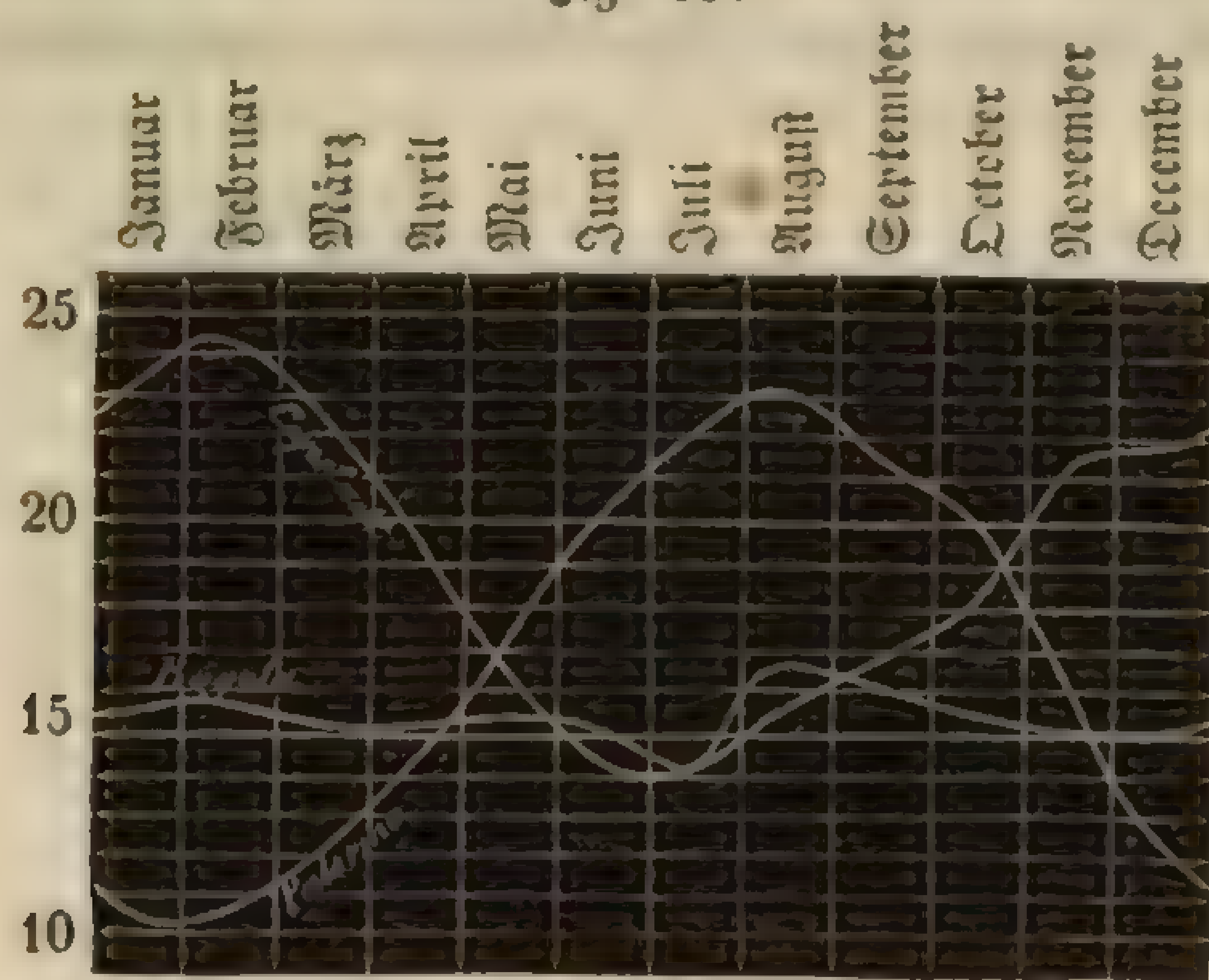
Im Sommer, wenn die Sonnenstrahlen weniger schräg auffallen, verweilt in höheren Breiten die Sonne auch länger über dem Horizonte; die längere Dauer der Einwirkung ersetzt, was den Sonnenstrahlen an Intensität abgeht, und so kommt es, daß es selbst an Orten, die sehr weit vom Aequator entfernt liegen, im Sommer sehr heiß werden kann (in Petersburg steigt das Thermometer an heißen Sommertagen bisweilen auf 30° C.); im Winter hingegen, wo die ohnehin schräger auffallenden Sonnenstrahlen überhaupt nur wenig wirken können, ist der Tag obendrein sehr kurz, die Nacht aber, während welcher der Boden seine Wärme ausstrahlt, außerordentlich lang; und so muß also im Winter die Temperatur sehr tief sinken. Der Unterschied zwischen der Temperatur des Sommers und des Winters wird also im Allgemeinen um so größer seyn, je weiter man sich vom Aequator entfernt.

In Bogota, welches 4° 35′ nördlich vom Aequator liegt, beträgt die Temperaturdifferenz des heißesten und des kältesten Monats nur 2°; in Mexico (19° 25′ n. B.) beträgt diese Differenz 8°; für Paris (48° 50′ n. B.) 27°; für Petersburg (59° 56′ n. B.) 32°.

Recht anschaulich werden diese Verschiedenheiten durch die graphischen Darstellungen in Fig. 537 und 538 gemacht. Fig. 537 (s. f. S.) stellt die Ab- und Zunahme der mittleren Temperatur von Monat zu Monat für Sta. Fe de Bogota, Palermo und die Capstadt, Fig 538. (S. 615.) aber stellt sie für

Mexico, Paris, Moskau und Boothia Felix dar. Für Bogota ist die mittlere Temperatur des Februars nahe 16°, sie sinkt gegen Ende März auf 15°, die niedrigste Temperatur von 14½° fällt in den Monat Juli, im August aber erreicht die Wärme ein Maximum von 16½°; die Curve für Bogota zeigt also in ihrem Verlaufe durchaus kein starkes Steigen und Fallen; die Jahreszeiten erscheinen hier ganz verwischt.

Fig. 537.



Anders verhält es sich in Palermo (38° 7′ n. B.). Hier herrscht gegen Ende Januar die niedrigste Temperatur des ganzen Jahres, nämlich 10,3°; dann nimmt die Wärme zu bis zum Anfang August, wo die mittlere Temperatur etwas über 23° beträgt; die Curve für Palermo steigt und sinkt also schon sehr bedeutend im Vergleich gegen die von Bogota. Die Curve für das Cap der guten Hoffnung ist der von Palermo sehr ähnlich, nur fällt natürlich der Sommer am Cap mit der kalten Jahreszeit in Palermo zusammen, weil das Cap auf der südlichen, Palermo auf der nördlichen Halbkugel liegt.

Die Temperaturcurve für Mexico, welches dem Wendekreise des Krebses sehr nahe liegt, ist noch nicht sehr steil, schon steiler ist die Curve für Paris, sehr steil endlich sind die Curven für Moskau und Boothia Felix; an dem zuletzt genannten Orte beträgt die Temperaturdifferenz zwischen dem heißesten und kältesten Monat 41°.

Aus den oben angedeuteten Betrachtungen folgt:

1) Daß die Wärme von dem Aequator nach den Polen hin abnehmen muß.

2) Daß in der Nähe des Aequators die Wärme über das ganze Jahr ziemlich gleichförmig verbreitet ist, daß also der Charakter unserer Jahreszeiten dort ganz verwischt seyn muß.

3) Daß die Jahreszeiten mit der Entfernung vom Aequator immer deutlicher vortreten und daß zugleich die Differenz zwischen der Sommer- und Wintertemperatur immer bedeutender wird.

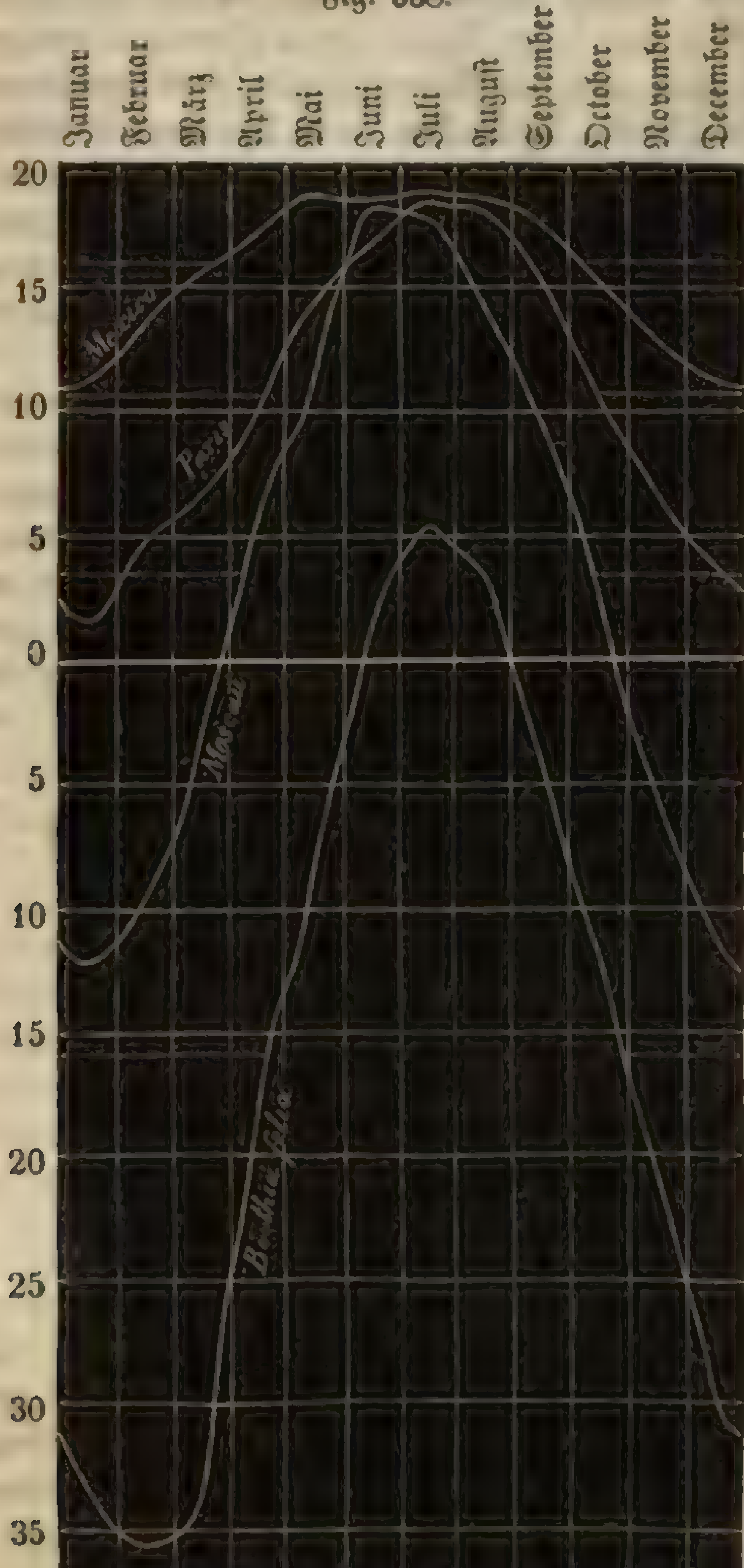
4) Daß selbst bis in die Nähe der Polarkreise der Sommer noch bedeutend heiß seyn kann.

Alles dies finden wir auch durch die Erfahrung bestätigt, und dennoch lehrt uns eine solche Betrachtung die Wärmevertheilung auf der Erde nur in sehr groben Zügen kennen; es ist unmöglich, aus der geographischen Breite eines

Ortes einen auch nur einigermaßen sicheren Schluß auf seine klimatischen Verhältnisse zu ziehen.

Wenn die ganze Erdoberfläche mit Wasser bedeckt oder wenn sie nur durch festes, überall flaches Land gebildet wäre, welches, überall von gleicher Beschaffenheit an allen Orten, eine gleiche Fähigkeit besäße, die Wärmestrahlen zu absorbiren und wieder auszustrahlen: so würde die Temperatur eines Ortes nur noch von seiner geographischen Breite abhängen, alle Orte desselben Breitengrades müßten ein gleiches Klima haben. Nun aber ist die Wirkung, welche die Sonnenstrahlen hervorbringen können, durch mannigfache Ursachen modificirt; das Klima einer Gegend hängt nicht allein von der Richtung der Sonnenstrahlen, sondern auch von den Umständen ab, unter welchen sie wirken; es hängt ab von der Gestaltung des Landes und des Meeres, von der Richtung und Höhe der Gebirgszüge, von der Richtung der herrschenden Winde u. s. w. Daher kommt es denn, daß Orte von gleicher geographischer Breite oft ein sehr ungleiches Klima haben, und man sieht leicht ein, daß theoretische Betrachtungen nicht ausreichen, um die klimatischen Verhältnisse abzuleiten; die wahre Vertheilung der Wärme auf der Erdkugel läßt sich nur durch zahlreiche, Jahre lang fortgesetzte Beobachtungen genügend ermitteln. Humboldt hat hier den für alle Naturwissenschaften einzig und allein zur Wahrheit führenden Weg der Induction zuerst mit Erfolg

Fig. 538.



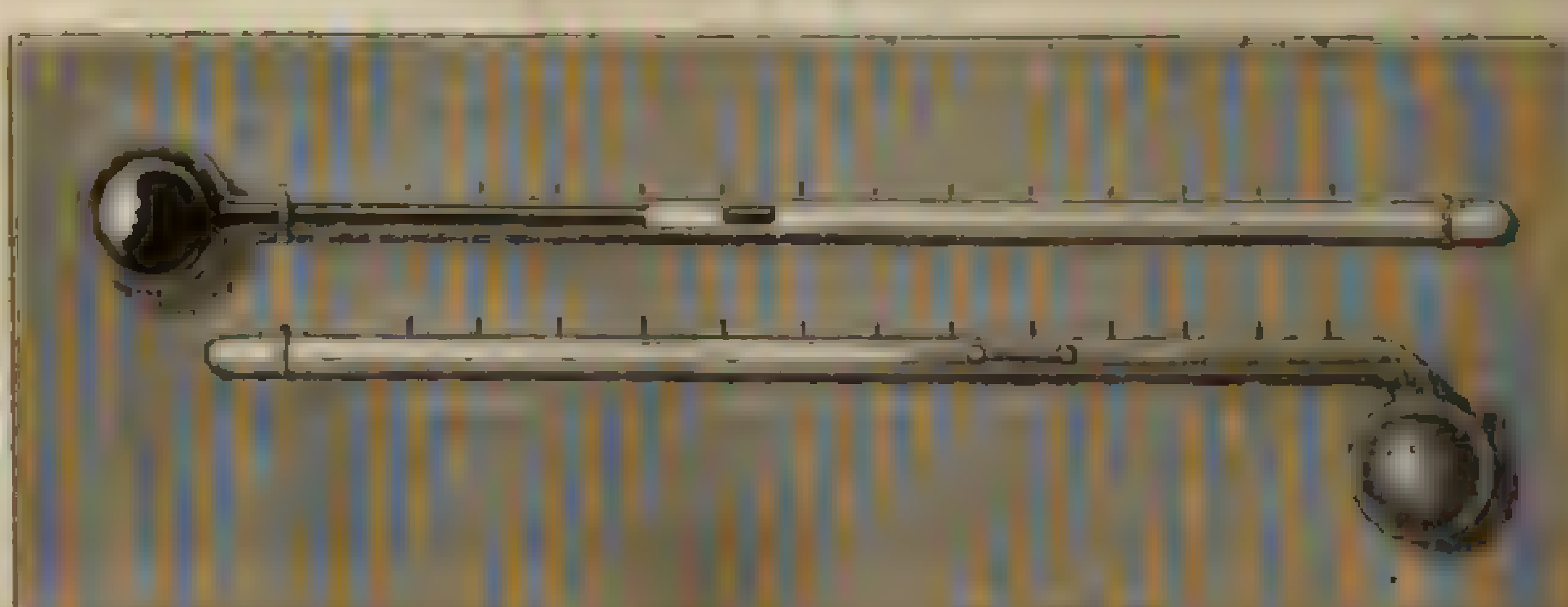
betreten. Auf seinen Reisen auf beiden Hemisphären hat er mit unermüdlichem Eifer Thatsachen gesammelt und hat durch geistreiche Combination dieser Thatsachen zuerst eine wissenschaftliche Meteorologie begründet.

208 **Beobachtung des Thermometers.** Um die Temperatur der Luft an einem Orte genau bestimmen zu können, muß man ein gutes Thermometer auf der Nordseite eines Gebäudes in der freien Luft 3 bis 4 Decimeter von der Wand aufstellen, so daß es nicht von den Sonnenstrahlen getroffen werden kann; auch darf keine Wand in der Nähe seyn, von der man befürchten muß, daß sie Wärmestrahlen nach dem Thermometer reflectirt. Wenn das Thermometer naßgeregnet ist, so muß man die Kugel 5 Minuten, bevor man es ablesen will, vorsichtig abtrocknen; denn die anhängenden Wassertropfen würden durch ihre Verdunstung die Temperatur des Quecksilbers in der Kugel erniedrigen.

Es ist für die Meteorologie oft von der größten Wichtigkeit, die höchste und die niedrigste Temperatur zu erfahren, welche während irgend eines Zeitraumes geherrscht hat, ohne daß man nöthig hat, gerade in den Momenten das Thermometer zu beobachten, in welchen das Maximum oder Minimum stattfindet. Dies erreicht man nun am einfachsten durch den Thermometrographen.

Der Thermometrograph ist Fig. 539 abgebildet; er besteht aus zwei Thermometern, deren Röhren wagerecht liegen und von denen das eine ein

Fig. 539.



Quecksilberthermometer, das andere ein Weingeistthermometer ist. In der Röhre des Quecksilberthermometers liegt ein Stahlstiftchen, welches durch die Quecksilbersäule fortgeschoben wird, wenn sich das Quecksilber in der Kugel dieses Thermometers ausdehnt; wenn nun aber das Thermometer wieder erkaltet, so zieht sich die Quecksilbersäule wieder zurück, das Stahlstäbchen aber bleibt an der Stelle liegen, bis zu welcher es bei dem höchsten Stande des Thermometers geschoben worden war; ein solches Thermometer giebt also das Maximum der Temperatur an, welches innerhalb einer gewissen Periode geherrscht hat.

In der Röhre des Weingeistthermometers liegt ein ganz feines Glasstäbchen, welches an beiden Enden etwas dicker ist, wie man Fig. 539 deutlich sieht; das Glasstäbchen liegt noch in dem Weingeistsäulchen, und wenn der Weingeist in der Kugel erkaltet und sich die Weingeistsäule in der Röhre bis an das erste

Knöpfchen des Glasstäbchens zurückgezogen hat, so wird bei fernerem Sinken der Temperatur das Glasstäbchen in Folge der Adhäsion zwischen Weingeist und Glas durch die noch weiter sich zurückziehende Weingeistsäule mitgenommen; wenn aber die Flüssigkeit in der Kugel wieder wärmer wird, so geht beim Steigen des Thermometers die Flüssigkeit an dem Stäbchen vorbei, ohne es fortzuschieben; das Stäbchen, welches meist von dunkelfarbigem Glase gemacht ist, damit man es deutlich sehen kann, bleibt also an der Stelle liegen, welche dem Minimum der Temperatur entspricht, welche innerhalb eines gewissen Zeitraumes herrschte.

Wenn die Kugel des einen Thermometers auf der rechten Seite liegt, so liegt die des anderen links, und wenn man den ganzen Apparat etwas neigt und leise daran stößt, so fällt das Stahlstäbchen durch sein Gewicht bis auf die Quecksilbersäule, das Glasstäbchen aber bis an das Ende der Weingeistsäule herab. Wenn man das so vorgerichtete Instrument stehen läßt, so wird bei jedem Steigen der Temperatur das Stahlstäbchen fortgeschoben, das Glasstäbchen aber bei jedem Sinken der Temperatur zurückgezogen

Dieses Instrument ist besonders geeignet um das Maximum und Minimum der täglichen Temperatur anzugeben. Wenn man es etwa jeden Abend in Stand setzt, so kann man den folgenden Abend ablesen, welches die höchste und welches die niedrigste Temperatur während der letzten 24 Stunden war.

Tägliche Veränderungen der Temperatur. Um alle Veränderungen 209
der Wärme der Atmosphäre während 24 Stunden genau verfolgen zu können, müßte man ein Thermometer in möglichst kurzen Zwischenräumen, etwa von Stunde zu Stunde, beobachten. Wenn solche Beobachtungen längere Zeit fortgesetzt werden sollen, so ist klar, daß eine einzige Person sie nicht anstellen kann und daß wenigstens mehrere sich zu diesem Zwecke vereinigen müssen; jedenfalls ist es sehr mühsam, solche Beobachtungsreihen anzustellen. Chiminello besorgte zuerst eine solche Reihe von Beobachtungen in Padua während eines Zeitraumes von 16 Monaten; später wurde eine ähnliche Beobachtungsreihe auf Brewster's Veranlassung auf dem Fort Leith bei Edinburg angestellt, andere von Gatterer in Göttingen, Kupffer in Petersburg, Kämtz in Halle u. s. w. Die Fig. 540 (s. f. S.) stellt den sich aus solchen Beobachtungen ergebenden täglichen Gang der Temperatur für den heißesten und kältesten Monat zu Halle und Leith dar.

Die ausgezogenen Curven gelten für Leith, die punktirten für Halle.

In Halle ist die mittlere Temperatur um 1 Uhr Nachts für den heißesten Monat (Juli) 14° C.; sie erreicht kurz vor 3 Uhr Morgens ihr Minimum von 13,4°, sie steigt alsdann fortwährend bis 3 Uhr Nachmittags, wo sie ihr Maximum von 22,6° erreicht, worauf sie dann wieder sinkt.

Im Januar, dem kältesten Monate, beobachtet man das Minimum der täglichen Wärme, nämlich — 5,86°, ungefähr um 7 Uhr Morgens, das Maximum von — 0,59° aber ungefähr um 1 Uhr Nachmittags.

Für Leith findet das Minimum der Temperatur während des wärmsten Monats (Juli), nämlich eine Temperatur von 13°, Morgens um 4 Uhr; das Maximum von 18,24° gegen 5 Uhr Nachmittags Statt. Während des

kältesten Monats (Januar) schwankt das Thermometer zu Leith zwischen einem Maximum von 5,89° und einem Minimum von 4,41°; ersteres fällt ungefähr auf 3 Uhr Nachmittags, letzteres ungefähr auf 6 Uhr Morgens.

Das Minimum der Temperatur findet also kurz vor Sonnenaufgang, das Maximum einige Stunden nach Mittag Statt, und zwar im Sommer später, im Winter früher.

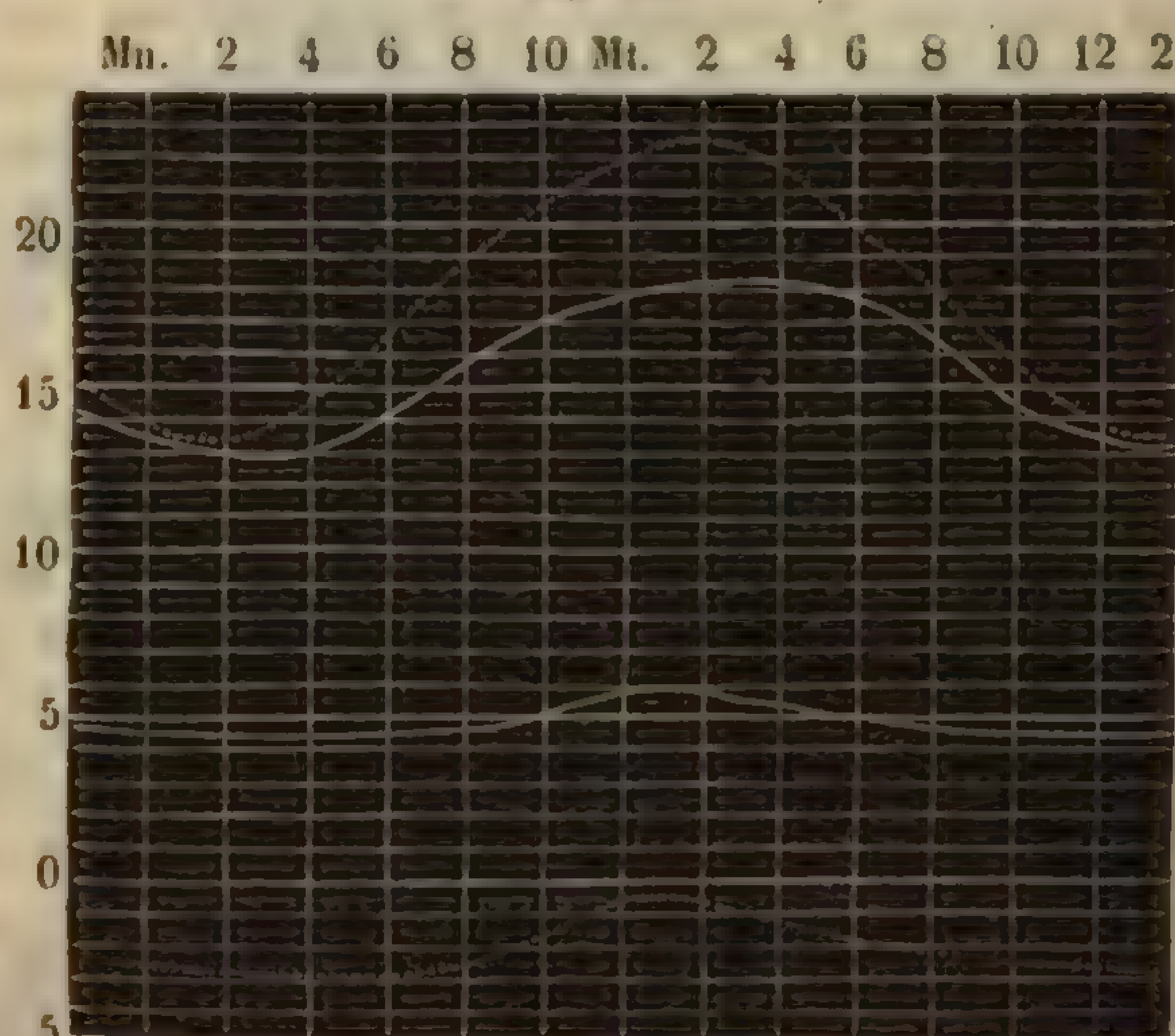
Dieser Gang läßt sich leicht erklären. Vor Mittag, während die Sonne stets höher und höher steigt, empfängt die Erdoberfläche mehr Wärme als sie ausstrahlt, ihre Temperatur und die Temperatur der Atmosphäre muß also steigen; dies dauert nun auch noch etwas über Mittag hinaus; wenn die Sonne aber tiefer sinkt, wenn ihre Strahlen weniger wirksam werden, so strahlt die erwärmte Erde mehr Wärme aus, als durch die Sonnenstrahlen ersetzt werden kann; diese Erkaltung dauert natürlich nach Sonnenuntergang noch fort, bis die Morgenröthe die Wiederkehr der Sonne ankündigt.

Nicht immer werden die täglichen Schwankungen des Thermometers diesen normalen Gang verfolgen, weil derselbe oft durch fremde Einflüsse, z. B. durch Umschlagen der Witterung, gestört wird; um das Gesetz der täglichen Wärmeveränderungen mit Sicherheit zu ermitteln, muß man deshalb den normalen Gang aus einer Combination möglichst zahlreicher Beobachtungen ableiten.

An manchen Orten leidet der normale Gang der täglichen Wärmevariationen durch örtliche Einflüsse, z. B. durch Windströmungen, regelmäßige Störungen, wodurch die Zeit des Maximums eine beständige Verrückung erleidet; so tritt an manchen Meeresküsten der heißen Zone das Maximum der täglichen Temperatur schon vor Mittag, z. B. im Mai zu Madras um 11 Uhr 18 Minuten, ein.

Die Betrachtung der Curven, Fig. 540, führt uns noch zu anderen interessanten Resultaten.

Fig. 540.



In Halle schwankt das Thermometer während des heißesten Monats in 24 Stunden durchschnittlich zwischen 13,5° und 22,5°, also um 9°, während für denselben Monat die Gränzen der täglichen Schwankungen des Thermometers für Leith nur etwas mehr als 5° auseinanderliegen; ein ähnliches Verhalten finden wir auch bei den Wintercurven;

auch hier sind die täglichen Veränderungen des Thermometerstandes für Halle bedeutender als für Leith; außerdem zeigen uns diese Curven, daß der Sommer in Halle wärmer, der Winter aber kälter ist als in Leith. Wir werden auf diesen wichtigen Punkt zurückkommen, wenn wir die Unterschiede zwischen einem Land- und Seeklima besprechen werden.

Wenn man das Mittel aus je 24 stündlichen Beobachtungen nimmt, erhält man die mittlere Temperatur des Tages; so ergiebt sich aus den Beobachtungen, nach welchen Fig. 540 construirt wurde, $18{,}2^0$ für Halle und $15{,}7^0$ für Leith als die mittlere Tagestemperatur im Monat Juli; — $2{,}05^0$ und 5^0 aber für die mittlere Tagestemperatur im Monat Januar für Halle und Leith.

Da es ungemein mühsam ist, stündliche Thermometerbeobachtungen längere Zeit hindurch fortzusetzen, so ist es für die Meteorologie von der größten Wichtigkeit, Methoden ausfindig zu machen, durch welche man die mittlere Tagestemperatur ohne diese stündlichen Beobachtungen ausfindig machen kann. Zweimal des Tages muß das Thermometer die mittlere Tagestemperatur angeben; es scheint also am einfachsten, die Stunden auszumitteln, in welchen dies der Fall ist, und dann nur zu diesen Stunden das Thermometer abzulesen; diese Bestimmungsweise kann aber leicht zu Unrichtigkeiten führen, weil sich der Stand der Thermometer gerade zu der Zeit am schnellsten verändert, weil man also einen bedeutenden Fehler begehen kann, wenn man nur etwas zu früh oder zu spät beobachtet. Ein weit richtigeres Resultat erhält man, wenn man das Thermometer in mehreren gleichnamigen Stunden, etwa um 4 Uhr und um 10 Uhr Morgens und um 4 Uhr und um 10 Uhr Abends beobachtet; dieses Mittel ist, wie Brewster gezeigt hat, bis auf $^1/_{10}$ Grad genau; auch erhält man ein brauchbares Resultat, wenn man um 7 Uhr Morgens, des Mittags und um 10 Uhr Abends beobachtet und aus diesen drei Beobachtungen das Mittel nimmt.

Das Mittel zwischen dem innerhalb 24 Stunden stattfindenden höchsten und niedrigsten Thermometerstande weicht, wie Humboldt durch die Vergleichung zahlreicher Beobachtungen gezeigt hat, die er zu Paris und unter dem Aequator anstellte, nur um einige Zehntel eines Grades von der wahren mittleren, aus allen stündlichen Beobachtungen abgeleiteten Temperatur ab. Das Maximum und Minimum der täglichen Temperatur läßt sich am bequemsten und am genauesten mit Hülfe eines Thermometrographen ermitteln.

Durch die Vergleichung der wahren mittleren Tagestemperatur mit dem Mittel aus dem höchsten und niedrigsten Thermometerstande läßt sich ein Correctionsfactor ermitteln, vermittelst dessen man im Stande ist, aus der Beobachtung des täglichen Maximums und Minimums ganz genau das wahre Tagesmittel zu berechnen; ja man ist durch die Kenntniß des täglichen Ganges der Wärme im Stande, aus Beobachtungen, die zu beliebigen Stunden des Tages gemacht worden sind, das Tagesmittel abzuleiten, doch können wir hier nicht weiter darauf eingehen.

Wenn man für irgend einen Tag durch die nöthigen Beobachtungen die mittlere Temperatur ermittelt hat, so wird man in einem anderen Jahre an demselben Tage nicht genau dieselbe Temperatur, sondern bald eine höhere, bald

eine tiefere finden; so ergaben sich aus den Beobachtungen des physikalischen Vereins zu Frankfurt a. M. für die mittlere Temperatur des 14. Juli von 1837 bis 1842 folgende Werthe:

1837	16,4° R.
1838	22,2
1839	19,5
1840	12,0
1841	13,8
1842	18,5
	Mittel 17,06° R.

Für Frankfurt a. M. ist also nach diesen 5jährigen Beobachtungen die mittlere Temperatur des 14. Juli 17,06° R. Eine so kurze Periode reicht jedoch nicht hin, um die Durchschnittszahl der mittleren Temperatur irgend eines Tages im Jahre mit Sicherheit zu ermitteln.

210 **Mittlere Temperatur der Monate und des Jahres.** Wenn man die mittlere Temperatur aller Tage eines Monats kennt, so hat man nur die Summe der mittleren Tagestemperaturen durch die Anzahl der Tage zu dividiren, um die mittlere Temperatur des Monats zu erhalten.

Nimmt man das arithmetische Mittel aus den für die 12 Monate des Jahres gefundenen Mitteltemperaturen, so erhält man die mittlere Temperatur des Jahres.

So ergab sich z. B. aus den Beobachtungen zu Paris für das Jahr 1803 die mittlere Temperatur 10,5°; 11,1° für 1804; 9,7° für 1805 u. s. w.

Man sieht, daß die mittlere Jahrestemperatur von einem Jahre zum anderen sich ändert. Wenn man aus einer möglichst großen Anzahl aus den Beobachtungen abgeleiteter Jahresmittel die Durchschnittszahl nimmt, so erhält man die mittlere Temperatur eines Ortes.

Während die mittlere Jahrestemperatur an einem und demselben Orte nur unbedeutend schwankt, ist die Verschiedenheit der mittleren Temperatur eines und desselben Monats von einem Jahre zum anderen oft sehr verschieden; so war z. B. die mittlere Temperatur des Monats Januar im Jahre 1823 zu Berlin — 9,4°, im Januar 1834 aber + 2,8°, also 12° höher als 1823.

Wenn man die mittleren Temperaturen eines Monats für eine möglichst große Reihe von Jahren kennt und aus diesen das Mittel nimmt, so erhält man eine Zahl, welche wir zur Unterscheidung von dem, was oben die mittlere Temperatur eines Monats genannt wurde, die Normaltemperatur des Monats nennen wollen. So ergiebt sich z. B. für Berlin — 1,87° als Normaltemperatur für den Monat Januar aus den Beobachtungen von 1801 bis 1825.

Auf gleiche Weise kann auch die Normaltemperatur für jeden einzelnen Tag des Jahres ermittelt werden.

211 **Gang der jährlichen Wärmevariationen.** Wenn man die Normaltemperatur an irgend einem Orte für alle Monate des Jahres kennt, so läßt sich daraus der normale Gang der Wärme im Laufe des Jahres übersehen.

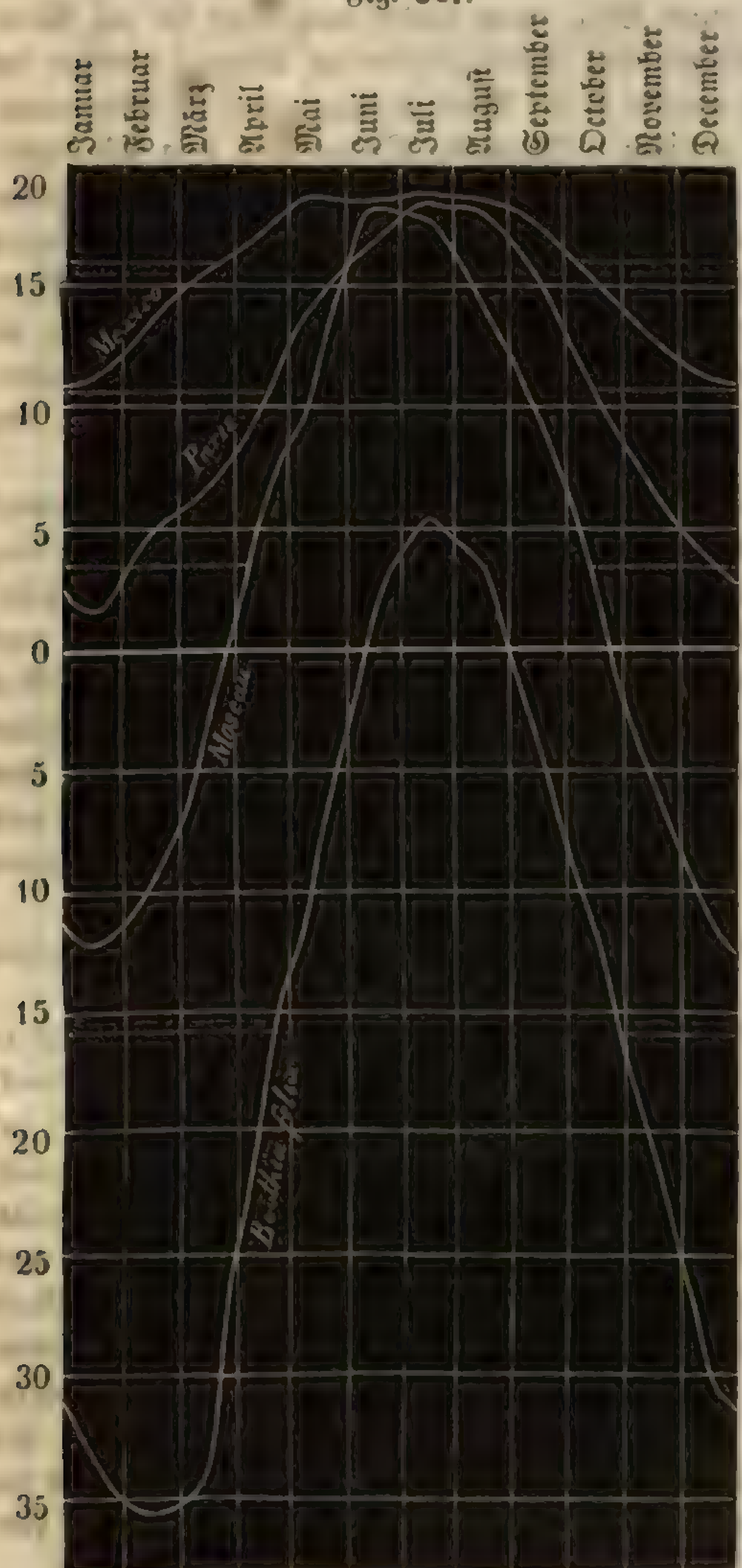
Noch deutlicher ergeben sich die Gesetze des normalen Ganges der Wärme,

wenn man ihn nicht aus der Normaltemperatur der einzelnen Monate, sondern aus kleineren Zeitabschnitten, etwa aus den Normaltemperaturen einzelner Tage, ableitet.

Die Fig. 541 zeigt den normalen Gang der Temperatur im Laufe eines Jahres für die beigeschriebenen Orte.

Aus Fig. 541 sieht man, daß das Minimum der Temperatur in Mexico in der Regel auf den Anfang Januar, in Paris und Moskau auf die Mitte des Januar, für Boothia Felix aber auf die Mitte des Februar fällt.

Fig. 541.



Die heißeste Zeit ist für Paris die letzte Hälfte des Juli und die erste des August, für Moskau die letzte Hälfte des Juni und die erste des Juli, für Boothia Felix die Mitte des Juli.

Da die Temperatur ungefähr während eines halben Jahres höher, während des anderen halben Jahres aber niedriger ist als die mittlere Jahrestemperatur, so ist klar, daß der mittlere Gang der Wärme zweimal die mittlere Jahrestemperatur passiren muß, und es läßt sich schon im Voraus denken, daß dies im Frühjahr und im Herbst der Fall seyn wird. Wie man in unserer Figur sieht, ist die mittlere Jahrestemperatur für jeden der vier Orte durch eine horizontale punktirte Linie angedeutet, welche auf beiden Seiten vom Rande der Figur bis zur entsprechenden Temperaturcurve geht; man übersieht auf diese Weise leicht, daß für Paris und Moskau ungefähr in der Mitte April und October die mittlere Jahrestemperatur herrschen wird. In Boo-

thia Felix herrscht die mittlere Jahrestemperatur ebenfalls in der Mitte April und zu Ende October, in Mexico im März und im October.

Für Frankfurt a. M. tritt der mittlere Wärmegrad des ganzen Jahres durchschnittlich am 8. April und am 18. October ein.

Aus zahlreichen Temperaturbeobachtungen geht hervor, daß in der nördlichen gemäßigten Zone die mittlere Jahrestemperatur in der Regel auf den 24. April und den 21. October fällt; der jährliche Gang der Wärme ist demnach in diesen Gegenden folgender: Die Temperatur steigt von der Mitte Januar anfangs langsam, schneller im April und Mai, dann wieder langsamer bis zur Mitte Juli, darauf nimmt sie wieder ab, und zwar langsam im August, schneller im September und October, und erreicht in der Mitte Januar wieder ihr Minimum. Dieser Gang läßt sich leicht erklären. Wenn die Sonne nach dem Wintersolstitium wieder höher steigt, so geschieht doch dieses Steigen so langsam, die Tage nehmen so wenig zu, daß noch keine kräftigere Wirkung der Sonnenstrahlen möglich ist, das Minimum der Jahrestemperatur findet deshalb nach dem Wintersolstitium Statt; ein Steigen der Temperatur findet erst Statt, wenn die Sonne schon etwas weiter nach Norden gerückt ist; um die Zeit der Aequinoctien schreitet die Sonne am Himmelsgewölbe am schnellsten gegen Norden vor, deshalb ist um diese Zeit die Temperaturzunahme auch am merklichsten.

Wenn die Sonne ihren höchsten Stand erreicht hat, ist die Erde noch nicht so stark erwärmt, daß die Wärme, welche der Boden durch die Ausstrahlung verliert, der Wärmemenge gleich ist, welche er durch die Sonnenstrahlen erhält; dieser Gleichgewichtszustand würde sich, wenn die Sonne längere Zeit an dem nördlichen Wendepunkte stehen bliebe, erst nach einiger Zeit herstellen. Nun geht aber die Sonne nach dem Sommersolstitium anfangs nur sehr langsam zurück, die Wirkung der Sonnenstrahlen ist einige Zeit hindurch fast noch eben so stark wie im Momente des Solstitiums selbst; die Temperatur wird also auch noch nach dem längsten Tage, und zwar bis zur Mitte Juli, steigen, um dann wieder abzunehmen.

Diese Betrachtungen führen uns auf die Eintheilung des Jahres in vier **Jahreszeiten**.

Für die Meteorologie ist die astronomische Eintheilung, bei welcher die Jahreszeiten durch die Aequinoctien und Solstitien abgegränzt sind, nicht ganz zweckmäßig; am passendsten möchte es wohl seyn, das Jahr so einzutheilen, daß der heißeste Monat (Juli) in die Mitte des Sommers, der kälteste Monat (Januar) in die Mitte des Winters fällt. Demnach umfaßt der **Winter** die Monate December, Januar, Februar; der **Frühling** März, April, Mai; der **Sommer** Juni, Juli, August; der **Herbst** September, October und November. Nach dieser Bedeutung sind auch die Jahreszeiten in der folgenden Tabelle zu nehmen, welche für eine große Anzahl von Orten, die über die ganze Erde zerstreut liegen, die Normaltemperaturen für das ganze Jahr, die einzelnen Jahreszeiten, den heißesten und kältesten Monat enthält. Diese Tabelle ist ein Auszug aus der noch weit mehr Orte enthaltenden **Mahlmann**'schen Tabelle, welche dem dritten Theile von **Humboldt**'s Asie centrale angehängt ist.

Mittlere Temperatur von 123 Orten, nach Mahlmann.

Orte.	Breite.	Länge östlich und westlich von Paris.	Höhe über dem Meeresspiegel in Metern.	Mittlere Temperatur des Jahres.	des Winters.	des Frühjahrs.	des Sommers.	des Herbstes.	des kältesten Monats.		des wärmsten Monats.		Zahl der Beobachtungs-Jahre.
Insel Melville	74° 47' N	113° 8' W	—	— 18,7	— 33,5	— 19,5	2,8	— 18,0	— 35,8	Febr.	5,8	Juli	1
Ustjansk	70 55 —	136 4 O	—	— 16,6	— 38,4	— 14,7	9,2	— 23,9	— 40,3	Jan.	13,7	—	1—3
Boothia Felix	70 2 —	94 10 W	—	— 15,7	— 33,2	— 20,7	3,4	— 12,4	— 35,6	Febr.	5,1	—	2—3
Jakuzk	62 1 —	126 47 O	117	— 9,7	— 38,9	— 8,3	17,2	— 6,6	— 40,5	—	20,3	—	. . .
Nain (Labrador)	57 10 —	64 10 W	—	— 3,6	— 18,5	— 5,8	7,6	— 2,2	— 20,9	—	9,3	Aug.	3
Enontekis	68 40 —	20 0 O	435	— 2,7	— 17,0	— 3,9	12,6	— 2,7	— 17,8	Jan.	14,5	Juli	4
Casino auf dem Aetna	37 6 —	12 41 —	2990	— 1,3	— 8,6	— 2,7	6,6	— 0,6	— 17,8	—	14,5	—	4
St. Bernhard	45 50 —	4 45 —	4843	— 1,0	— 7,8	— 2,0	6,1	— 0,4	— 8,7	—	6,8	—	21
Slatoust	55 8 —	57 8 —	322	— 0,7	— 16,6	0,8	15,2	0,2	— 18,0	Febr.	15,8	—	4
Irkuzk	52 16 —	101 58 —	409	— 0,2	— 17,6	4,5	15,9	— 2,2	— 19,5	Jan	17,5	—	10
Nord-Cap	71 10 —	23 30 —	—	0,1	— 4,6	— 1,3	6,4	— 0,1	— 5,5	—	8,1	—	1
Kasan	55 48 —	46 47 —	58	2,2	— 14,3	2,6	17,0	2,8	— 16,5	—	18,4	—	12
Petersburg	59 56 —	27 59 —	—	3,5	— 8,4	1,7	15,7	4,7	— 10,3	—	16,9	—	25
Moskau	55 45 —	35 18 —	146	3,6	— 10,3	6,3	16,8	1,6	— 10,6	—	17,6	—	25
Reikiavig	64 8 —	24 16 W	—	4,0	— 1,6	2,4	12,0	3,3	— 2,1	Febr.	13,5	—	14
Falun	60 39 —	13 25 O	121	4,4	— 5,5	3,2	14,6	5,3	— 7,4	Jan.	15,8	—	9
Upsala	59 52 —	15 18 —	[illegible]	5,2	— 3,7	3,4	15,1	6,2	— 4,9	—	16,3	—	27
				5,3	. . . .	. . . .	. . .	. . .	— 5,0	—	16,8	—	83
Christiania	59 54 —	8 25 —	—	5,4	— 3,8	4,0	15,3	5,8	— 4,8	—	16,5	—	10
Pompey (Nordam.)	42 56 —	78 25 W	390	6,1	— 5,3	5,3	17,7	6,8	— 6,2	—	19,0	—	14
Königsberg	54 43 —	18 10 O	—	6,2	— 3,3	5,3	15,9	6,7	— 4,2	—	17,0	—	24
Halifax	44 39 —	65 57 W	—	6,2	— 4,4	2,9	17,2	9,0	— 5,2	—	19,2	—	2—9
Wilna	54 41 —	22 58 O	117	6,3	— 4,6	5,7	17,6	6,5	— 5,9	—	18,5	—	6
Montreal	45 31 —	75 55 W	. . .	6,5	— 8,1	6,8	20,6	8,4	— 9,7	—	21,7	—	13

Orte.	Breite.	Länge östlich und westlich von Paris.	Höhe über dem Meeresspiegel in Metern.	Mittlere Temperatur des Jahres.	des Winters	des Frühjahrs.	des Sommers.	des Herbstes.	des kältesten Monats.	des wärmsten Monats.	Zahl der Beobachtungs-Jahre.
Leadhills	55° 25′ N	6° 8′ W	390	6,6	0,2	6,4	13,1	6,5	— 0,2 Jan.	14,0 Juli.	10
Fort Snelling	44 53 —	95 28 —	240	6,6	— 9,8	8,2	21,3	7,2	— 11,9 —	22,4 —	5
Tilsit	55 4 —	19 33 —	. . .	6,7	— 3,6	5,9	16,7	7,3	— 5,4 —	17,5 —	20
Neu-Archangelsk	57 3 —	137 38 W	. . .	6,9	0,7	5,2	12,7	8,6	— 0,2 Febr.	13,5 Aug.	3—5
Lund	55 42 —	10 51 O	—	7,2	— 1,4	5,4	16,7	8,3	— 1,9 Jan	17,4 Juli.	54
Freiberg	50 55 —	11 0 —	403	7,2	— 1,7	7,2	15,9	7,5	— 3,2 —	16,4 —	9
Gotha	50 57 —	8 23 —	308	7,3	— 1,3	7,3	15,5	7,6	— 3,2 —	16,8 —	8
Tabor	49 24 —	12 19 —	429	7,3	— 2,7	7,3	16,9	7,7	— 4,6 —	18,0 —	15
Dunfermline	56 5 —	5 46 W	. . .	7,4	2,6	6,1	12,9	7,8	— 2,1 —	13,8 —	20
Warschau	52 13 —	18 42 O	121	7,5	— 2,5	7,0	17,5	8,0	— 4,0 —	18,2 —	26
Danzig	54 21 —	16 18 —	. . .	7,6	— 1,2	6,7	16,4	8,4	— 2,6 —	17,5 —	26
Bern	46 57 —	5 6 —	585	7,8	— 0,9	7,7	15,8	8,5	— 2,8 —	16,6 Aug.	20
Augsburg	48 22 —	8 34 —	493	7,9	— 0,7	8,3	16,6	8,2	— 3,8 —	17,5 Juli.	22
Breslau	51 6 —	14 42 —	140	8,1	— 1,0	7,2	17,3	8,1	— 1,5 —	19,1 —	18
Kopenhagen	55 41 —	10 14 —	—	8,2	— 0,4	6,5	17,2	9,3	— 1,4 —	18,2 —	52
Apenrade	55 3 —	7 5 —	—	8,3	0,6	6,9	16,2	9,0	— 0,4 —	16,9 —	16
Fulda	50 34 —	7 24 —	273	8,3	— 2,6	8,1	18,7	8,9	— 3,5 —	19,6 Aug.	11
Kremsmünster	48 3 —	11 48 —	361	8,3	— 1,9	. . . .	17,6	. . .	. . . .	. . . .	11
Dresden	51 3 —	11 24 —	121	8,5	— 0,4	8,4	17,2	8,4	— 2,0 —	18,0 Juli	10
St. Gallen	47 26 —	7 2 —	. . .	(8,5)	0,0	7,7	(17,2)	8,9	— 1,7 —	(19,8) —	10
Edinburg	55 57 —	5 32 —	88	8,6	3,6	7,6	14,4	8,9	2,9 —	15,0 —	17
Hamburg	53 33 —	7 38 O	—	8,6	0,3	8,0	17,0	8,8	— 1,3 —	17,5 —	19
Berlin	52 31 —	11 3 —	39	8,6	— 0,8	8,0	17,3	8,8	— 2,4 —	18,0 —	25
				8,6	— 0,7	8,4	17,6	9,1	— 3,1 —	18,3 —	22
Tübingen	48 31 —	6 43 —	331	8,6	0,2	8,6	17,1	8,9	— 2,2 —	17,8 —	13
Manchester	53 29 —	4 35 W	47	8,7	2,8	7,9	14,8	9,2	— 2,1 —	15,2 —	25
Halle	51 31 —	9 37 O	111	8,8	0,0	8,6	17,5	9,1	— 2,3 —	19,2 —	5—10

München	48 9 —	9 14 —	526	8,9	— 0,4	9,0	17,4	9,1	— 1,5 —	18,0 —	32
Salem	42 31 —	73 14 W	—	8,9	— 2,6	7,2	20,6	10,5	— 3,8 —	21,0 —	45
Insbruck	47 16 —	9 4 O	526	9,0	— 1,9	10,0	18,3	9,6	— 3,8 —	18,4 —	51
Göttingen	51 32 —	7 36 —	132	9,1	0,6	. . . .	17,6	. . .	. . . .	. . . . .	%
Albany	42 39 —	76 5 W	39	9,2	— 3,0	8,7	20,9	9,7	— 3,9 Febr.	22,2 —	17
Boston	42 21 —	73 24 —	. . .	9,3	— 1,6	7,7	20,5	10,4	— 3,3 Jan.	21,8 —	10
Dublin	53 23 —	8 41 —	—	9,5	4,6	8,4	15,3	9,8	4,3 —	16,0 Juli.	13
Münster	51 58 —	5 18 O	63	9,5	2,2	8,7	16,8	10,1	0,7 —	17,4 —	10
Prag	50 5 —	12 6 —	191	9,5	— 0,4	9,6	18,9	9,8	— 2,4 —	20,2 —	15
Leyden	52 10 —	2 9 —	—	9,7	2,4	8,4	17,2	10,5	1,2 —	17,9 —	19
Genf	46 12 —	3 49 —	396	9,7	1,2	9,5	17,9	10,2	— 0,4 —	18,6 —	40
Council-Bluffs	41 25 —	98 3 W	244	9,7	— 5,2	10,6	23,2	10,3	— 6,9 —	23,9 —	5
Frankfurt a. M.	50 7 —	6 21 O	117	9,8	1,2	9,9	18,3	10,0	— 0,4 —	18,9 —	30
Straßburg	48 35 —	5 25 —	146	9,8	1,1	10,0	18,1	10,0	— 0,4 —	18,8 —	32
Haarlem	52 23 —	2 18 —	—	10,0	2,8	9,2	17,0	11,0	1,0 —	17,7 —	18
Trier	49 46 —	4 18 —	156	10,0	1,9	10,0	17,8	10,1	0,0 —	18,7 —	11
Würzburg	49 48 —	7 36 —	172	10,1	1,6	10,2	18,7	9,7	— 0,9 —	19,6 —	27
Wien	48 13 —	14 3 —	156	10,1	0,2	10,5	20,3	10,5	— 1,6 —	20,7 —	24—14
Brüssel	50 51 —	2 2 —	58	10,2	2,5	10,1	18,2	10,2	1,2 —	18,8 —	36
Mannheim	49 29 —	6 8 —	92	10,3	1,5	10,4	19,5	9,8	0,9 —	20,2 —	12
London	51 31 —	2 26 W	—	10,4	4,2	9,5	17,1	10,7	3,0 —	17,8 —	40
Paris	48 50 —	0 0 —	64	10,8	3,3	10,3	18,1	11,2	1,8 —	18,9 —	33
Plymouth	50 22 —	6 28 —	—	11,1	6,9	10,1	16,0	11,7	5,9 —	16,6 —	11
Hobarttown	42 45 —	145 15 —	—	11,3	5,6	11,6	17,3	10,9	4,5 —	17,3 —	1
Sebastopol (Krim)	44 36 —	31 12 O	49	11,5	1,8	10,2	21,7	12,6	0,6 —	22,4 —	15
La Rochelle	46 9 —	3 28 W	—	11,6	4,2	10,6	19,4	11,5	2,9 Dec.	20,2 —	11
Baltimore	39 17 —	78 58 —	. . .	11,6	0,4	10,4	23,1	12,9	— 0,6 Jan.	24,0 —	8
Padua	45 24 —	9 32 O	—	12,5	2,8	12,1	21,9	13,0	1,8 —	22,9 —	37
Peking	39 54 —	114 9 —	97	. . . .	— 1,0	14,8	. . .	. . .	— 2,3 —	. . . . .	1
				12,7 ?	— 3,2 ?	13,5	28,1 ?	12,4	— 4,1 ? —	29,1 Juni	6
Venedig	45 26 —	10 0 —	—	13,7	3,3	12,6	22,8	13,3	1,8 —	23,9 Juli.	19—7
Constantinopel	41 0 —	26 39 —	. . .	13,7	4,8	11,0	23,0	15,8	. . . .	. . . . .	1—3
Bordeaux	44 50 —	2 55 W	—	13,9	6,1	13,4	21,7	14,4	5,0 —	22,9 —	10
Mafra	38 56 —	11 41 —	228	13,9	9,6	12,7	18,2	15,1	9,2 —	19,7 —	4

Orte.	Breite.	Länge östlich und westlich von Paris.	Höhe über dem Meeresspiegel in Metern.	Mittlere Temperatur des Jahres.	des Winters.	des Frühjahrs.	des Sommers.	des Herbstes.	des kältesten Monats.	des wärmsten Monats.	Zahl der Beobachtungs-Jahre.
Marseille	43° 18′ N	3° 2′ O	45	14,1	6,9	12,9	21,4	14,7	5,2 Jan.	22,8 Juli.	16—10
Madrid	40 25 —	6 2 W	663	14,2	5,6	14,2	23,4	13,7	. . . . . .	. . . . .	2—3
Avignon	43 57 —	2 28 O	—	14,4	5,8	13,9	23,1	14,6	4,8 —	23,8 Aug.	25
Santa-Fe-de-Bogota	4 36 —	76 34 W	2631	15,0	15,1	15,3	15,3	14,5	14,0 Juli.	16,1 —	1—2
Florenz	43 47 —	8 55	64	15,3	6,8	14,7	24,0	15,7	5,3 Jan.	25,2 Juli.	12
Rom	41 54 —	10 8 —	53	15,4	8,1	14,1	22,9	16,5	7,2 —	23,9 —	30
Quito	0 14 S	81 5 W	2914	15,6	15,4	15,7	15,6	17,5	14,8 Juli.	16,3 März.	2—3
Neapel	40 51 N	11 55 O	55	16,7	9,9	15,6	23,9	17,3	9,0 Jan.	25,0 Aug.	8
				16,4	9,8	15,2	23,6	16,8	9,2 —	24,5 —	18
Lissabon	38 42 —	11 29 W	72	16,4	11,3	15,5	21,7	17,0	11,2 —	22,3 Juli.	5
Merico	19 26 —	101 26 —	2271	16,6	13,0	18,1	19,1	16,2	12,3 —	19,7 Juni.	2
Buenos-Ayres	34 37 —	60 44 —	—	16,9	11,4	15,2	22,8	18,1	11,0 —	23,8 Aug.	1—4
Palermo	38 7 —	11 1 O	55	17,2	11,4	15,0	23,5	19,0	10,7 Febr.	24,6 —	39
Algier	36 47 —	0 43 W	—	17,8	12,4	17,2	23,6	21,4	(14,5) März.	24,7 —	4
Gibraltar	36 7 —	7 41 —	. . .	17,9	13,8	17,3	22,7	17,8	13,7 Febr.	23,5 Juli.	2
Canea	35 29 —	21 40 O	. . .	18,0	12,4	15,6	25,2	18,9	11,9 Jan.	27,5 Aug.	1—2
Smyrna	38 26 —	24 48 —	. . .	18,2	11,1	14,6	26,0	21,1	. . . . . .	. . . . .	1
Funchal	32 38 —	19 15 W	—	18,7	16,3	17,5	21,1	19,8	15,7 —	23,3 —	6
Cap der guten Hoffnung	33 55 S	16 8 O	—	19,1	14,8	18,6	23,4	19,4	14,3 Aug.	24,1 Jan.	7—11
Montevideo	34 54 —	58 33 W	. . .	19,3	14,1	18,1	25,2	20,0	13,3 Juli.	26,7 Dec.	1
Tunis	36 48 N	7 51 O	—	20,3	13,2	18,3	28,3	21,9	11,7 Jan.	30,3 Aug.	3—4
Canton	23 8 —	110 56 —	—	21,0	12,7	21,0	27,8	22,7	11,4 —	28,3 Juli.	10
				21,6	13,7	21,8	28,2	22,5	13,3 —	28,5 Juni.	3
Las-Palmas (Canarische Inseln)	28 0 —	17 51 W	—	21,8	18,0	19,4	23,8	26,2	17,8 —	29,2 Oct.	12
Caraccas	10 31 —	69 25 —	887	22,0	20,9	21,8	23,4	22,2	20,0 Febr.	24,0 Juli.	1—2
Macao	22 11 —	111 14 O	—	22,5	16,4	21,1	28,3	24,1	14,5 —	28,6 —	2—5

Candy	7 18 —	78 30 —	513	22,7	22,3	23,5	22,8	22,4	21,8 Jan.	24,2 Mai.	5—6
Rio-Janeiro	22 55 S	45 36 W	. . .	23,1	20,3	22,5	26,1	23.6	19,6 J li.	26,7 Jan.	7—9
St. Louis (Senegal) . .	16 1 N	18 53 —	—	24,6	21,1	21,4	27,6	28,2	19,9 Febr.	30,8 Sept.	1
Delta des Indus	24 44 —	65 57 O	. . .	. . .	17,8	. . .	. . .	. . .	17,2 —	. . . . .	1
Havanna	23 9 —	84 43 W	—	25,0	22,6	24,6–	27,4	25,6	21,9 Jan.	27,5 Aug.	8
Vera-Cruz	9 12 —	98 29 —	—	25,0	21,5	25,0	27,5	26,0	21,2 —	27,8 Mai.	13
Seringapatam	12 45 —	74 21 O	735	25,1	22,9	28,5	24,5	24,4	21,6 —	29,4 —	2
Benares	25 19 —	80 35 —	97	25,4	16,3	30,0	29,6	24,1	15,2 Dec.	33,4 —	4
Calcutta	22 35 —	86 0 —	—	25,5	19,9	28,1	28,5	26,1	18,4 Jan.	29,9 —	17—8
Bombay	18 56 —	70 34 —	—	26,0	23,2	27,2	28,1	27,3	22,4 —	29,3 —	2
Jamaica	17 50 —	79 2 W	. . .	26,1	24,6	25,7	27,4	26,6	24,4 —	27,7 Juli.	5
Paramaribo	5 45 —	57 33 —	. . .	26,5	25,9	26,3	26,9	28,2	25,6 Febr.	28,6 Sept.	1–3
Singapore	1 17 —	101 30 O	. . .	26,5	25,9	26,9	27,1	26,7	25,6 Jan.	27,4 Juni.	6
Batavia	6 9 S	104 33 —	—	26,8	26,2	26,8	27,2	27,1	25,9 Juni.	27,8 Jan.	1
Cumana	10 28 —	66 30 W	—	27,4	27,0	28,6	28,1	. . .	26,9 Jan.	29,2 Mai.	1
Küste von Guinea	5 30 —	2 0 —	—	27,4	28,1	28,3	26,4	27,0	25,6 Febr.	28,8 Febr.	1—2
Madras	13 5 —	77 57 O	—	27,8	24,8	28,6	30,2	27,5	24,1 Jan.	31,3 Juni.	25
Kouka	13 10 —	12 10 —	351	28,2	23,8	32,6	29,0	27,2	20,6 Dec.	33,7 Apr.	1—2
Massowa (Abyssinien) . .	15 36 —	37 9 —	—	(31,0)	26,7	29,5	. . .	32,0	25,5 Jan.	(33,8) Sept.	1

212 **Isothermische Linien.** Eine Tabelle wie die, welche auf Seite 623 bis 627 steht, enthält eine Masse von Elementen, aus welchen man die Verbreitung der Wärme auf der Erdoberfläche ableiten kann. Jedenfalls sieht man aus einer solchen Tabelle schon, daß nicht alle auf demselben Breitengrade liegenden Orte gleiche mittlere Temperatur haben. So ist z. B. die mittlere Jahreswärme am Nordcap + 0,1°, während Nain auf der Küste Labrador eine mittlere Jahreswärme von — 3,6° hat, obgleich Labrador 14° südlicher liegt als das Nordcap. Eine klare Uebersicht über die Vertheilung der Wärme auf der Erde hat zuerst Humboldt durch seine isothermischen Linien möglich gemacht, durch welche er alle solche Orte derselben Hemisphäre verband, welche gleiche mittlere Jahreswärme haben. Seine Abhandlung über die Isothermen und die Vertheilung der Wärme auf der Erde erschien im Jahre 1817 im 3. Bande der Mémoires de la société d'Arcueil.

Denken wir uns z. B., daß ein Reisender, von Paris ausgehend, eine Reise um die Erde in der Weise macht, daß er alle Orte der nördlichen Halbkugel besucht, welche dieselbe mittlere Jahreswärme haben, wie Paris, nämlich 10,8°, so wird der Weg, den er auf diese Weise zurücklegt, eine Linie gleicher mittlerer Jahreswärme, also eine isotherme Linie seyn; diese Linie fällt aber nicht mit dem Breitengrade von Paris zusammen, sie ist unregelmäßig und gekrümmt, d. h. sie geht durch Orte, welche eine ganz andere Breite haben als Paris.

Humboldt's Abhandlung enthält eine Tabelle von 60 Orten, für welche die mittlere Temperatur durch wenigstens 8000 Beobachtungen ermittelt worden war, und nach diesen legte er seine Isothermen. Seit den letzten 20 Jahren sind nun durch zahlreiche Beobachtungen die klimatischen Verhältnisse vieler Orte genauer ermittelt werden, ohne daß dadurch der Typus der großen Krümmungen der Isothermen, wie sie Humboldt damals bestimmt hatte, wesentlich verändert worden wäre.

Fig. 542 stellt die Erdoberfläche in Mercators-Projection mit den Isothermen von 5 zu 5 Grad dar. Am Erdäquator ist die mittlere Temperatur der Meeresufer 27,5°; auf der Westseite von Amerika und Afrika jedoch etwas geringer; im Inneren der beiden Continente, besonders in Afrika, ist die mittlere Temperatur höher als an den Küsten, im Inneren von Afrika steigt die mittlere Temperatur des Aequators über 29°.

Der Wärmeäquator, d. h. die Linie, welche man erhält, wenn man die heißesten Punkte der verschiedenen Meridiane mit einander verbindet, fällt nicht mit dem Erdäquator zusammen; die Gegenden, welche gerade unter dem Aequator liegen, sind also nicht immer die heißesten. Obgleich es gewiß zu seyn scheint, daß der Wärmeäquator größtentheils auf der nördlichen Halbkugel liegt, so fehlt es doch noch an zuverlässigen Beobachtungen, um seinen Lauf näher zu bezeichnen.

Die nördliche Isotherme von 25° geht durch Veracruz, berührt die Südspitze von Florida, steigt dann noch etwas nach Norden, um sich nach der Westküste von Afrika zu senken; dann steigt sie wieder nach Norden, geht durch

den nördlichen Theil des rothen Meeres und durch den persischen Meerbusen hindurch u. s. w.



Fig. 542.

Die Anschauung der Karte Fig. 542 erspart uns eine weitere Beschreibung des Laufes der Isothermen. Man sieht, daß ihre Krümmungen in der nördlichen Halbkugel um so bedeutender werden, je weiter man sich vom Aequator entfernt; die Isotherme von 0° z. B. steigt von dem südlichen Ende der Küste von Labrador über Island nach dem Nordcap, um sich im Inneren von Asien wieder bedeutend zu senken.

Da, wo sich die Isothermen am weitesten nach Süden herabsenken, bilden sie einen concaven, da, wo sie am höchsten nach Norden steigen, bilden sie einen convexen Gipfel. Die südlichen Wendepunkte der Isothermen liegen im östlichen Nordamerika und im Inneren von Asien, die nördlichen Wendepunkte dagegen liegen an den Westküsten von Europa und Amerika.

Brewster hat es sehr wahrscheinlich gemacht, daß der Nordpol nicht der kälteste Ort der nördlichen Hemisphäre ist, sondern daß die Isothermen in der Nähe des Pols zwei getrennte geschlossene Curven bilden, deren Mittelpunkte er Kältepole nennt. In der That deutet auch der Lauf der Isothermen von — 15° darauf hin; in einer nach der Polarprojection gezeichneten Karte würde die Lage der Kältepole noch deutlicher vortreten. Der eine Kältepol liegt über dem asiatischen, der andere über dem nordamerikanischen Continente; daher denn auch die Senkung der Isothermen in Nordamerika und Sibirien.

Mit der Entfernung vom Aequator nach dem Nordpole hin ist die Wärmeabnahme durchaus nicht der zunehmenden geographischen Breite proportional, wie man leicht aus folgender Zusammenstellung ersieht.

Zunahme der nördlichen Breite	Entsprechende Temperaturabnahme in der alten Welt	in der neuen Welt
0 bis 20°	2°	2°
20 » 30	4	6
30 » 40	4	7
40 » 50	7	9
50 » 60	5,5	7,4
von 0 bis 60°	22,5°	31,4°

»In beiden Welten,« sagt Humboldt, »liegt die Zone, in welcher die mittlere Temperatur am schnellsten abnimmt, zwischen den Parallelen von 40° und 45°. Dieser Umstand muß einen günstigen Einfluß auf die Bildung und den Kunstfleiß der Völker haben, welche in der Nähe dieses Gürtels wohnen. Es ist dies der Punkt, wo die Regionen des Weinstocks an die des Oliven- und Citronenbaums gränzen. Nirgends anders auf der Erde findet man von Süden nach Norden eine merklichere Abnahme der Temperaturen, nirgends folgen die Erzeugnisse des Pflanzenreichs und die mannigfaltigen Gegenstände des Ackerbaues schneller auf einander. Die große Verschiedenheit in den Erzeugnissen der Gränzländer belebt den Handel und vermehrt den Gewerbfleiß der ackerbauenden Völker.«

Die Temperaturverhältnisse der südlichen Hemisphäre sind uns bei weitem nicht so vollständig bekannt wie die der nördlichen, doch ist es wohl als ausgemacht zu betrachten, daß die südliche Halbkugel kälter ist als die nördliche; dieser Unterschied möchte aber wohl geringer seyn, als man vielfach anzunehmen geneigt ist. Was vielleicht dazu beigetragen hat, die südliche Halbkugel für so bedeutend kälter zu halten als die nördliche, ist wohl der Umstand, daß man die Temperaturverhältnisse der südlichsten Theile von Amerika mit den Temperatur-

verhältnissen gleicher nördlicher Breiten in Europa verglichen hat, wo ja die Isothermen so außerordentlich weit nach Norden in die Höhe steigen; die Sache stellt sich ganz anders, wenn man die Gegenden von Südamerika mit solchen vergleicht, welche gleichweit vom Aequator an der Ostküste von Nordamerika liegen.

Die Nachrichten verschiedener Reisenden über dieselben Gegenden widersprechen sich oft geradezu, ein Beweis, wie sehr man sich hüten muß, aus vereinzelten Beobachtungen und Angaben einen Schluß auf die klimatischen Verhältnisse eines Landes zu machen. Cook konnte auf seiner zweiten Reise kaum den südlichen Polarkreis passiren, während später Weddel das Meer bis zum 74° frei fand. Dumont-Durville wurde bei seinen zweimaligen Versuchen, gegen den Südpol vorzudringen, am Polarkreise aufgehalten, James Roß hingegen fand bis 78° s. B. schiffbares Meer. Nach Forster sind die Berge an den Küsten von Neugeorgien (ungefähr 28° östlich vom Feuerlande) bis an das Meer mit Schnee bedeckt, nur an wenigen der Sonne ausgesetzten Stellen war der Boden frei, während Weddel, welcher die Insel später besuchte, Gras von 6 Decimeter Höhe fand. Ebenso weichen die Schilderungen des Feuerlandes ab; Bank fand hier Birken (betula antarctica) von 9 bis 10 Meter Höhe und 6 bis 9 Decimeter Umfang. Bei Port Famine (mittlere Temp. 5°) sind die Küsten der Magellanstraße mit herrlichen Wäldern von fagus antarctica bedeckt, die von Papageien bewohnt sind. Ein Beweis, daß die Winter in diesen Gegenden nicht sehr kalt seyn können, ist, daß die Eingebornen ganz nackt gehen.

Das Klima der südlichen Spitze von Amerika ist ein solches, welches wir alsbald unter dem Namen des Seeklimas werden kennen lernen, d. h. der Sommer bleibt kühl, der Winter wird aber auch nicht streng; es ist dies leicht begreiflich, wenn man bedenkt, wie weit das nach Süden schmal zulaufende Südamerika in die ungeheure Wassermasse hineinragt.

Die Isothermen nähern sich an den Westküsten von Südamerika dem Aequator weit mehr als auf den Ostküsten, die Westküsten sind also verhältnißmäßig kälter; dies rührt von einer kalten Meeresströmung her, welche an den Westküsten Südamerikas von Süden nach Norden zieht.

Daß die südliche Halbkugel etwas kälter ist als die nördliche, rührt wohl daher, daß auf der nördlichen das Land, auf der südlichen hingegen das Meer vorherrscht. Das feste Land erwärmt sich durch die Absorption der Sonnenstrahlen weit mehr als das Meer, welches einen großen Theil dieser Sonnenstrahlen reflectirt.

Isotheren und Isochimenen. Daß nicht alle Orte, welche auf demselben Parallelkreise liegen, gleiches Klima haben, ist bereits angeführt worden; es 213
fragt sich aber nun, ob denn alle Orte, welche auf derselben Isotherme liegen, alle Orte also, für welche die mittlere Jahreswärme gleich ist, auch sonst gleiche klimatische Verhältnisse haben. Man braucht nur die Tabelle auf Seite 623 bis 627 anzusehen, um sich zu überzeugen, daß dies nicht der Fall ist. So ha-

ben z. B. Edinburg und Tübingen gleiche mittlere Jahreswärme von 8,6°, in Edinburg ist aber die mittlere Temperatur des Winters 3,6°, in Tübingen 0,2°; Tübingen hat also einen weit kälteren Winter als Edinburg, dagegen ist die mittlere Sommertemperatur für Tübingen 17,1°, für Edinburg nur 14,2°. Bei gleicher mittlerer Jahrestemperatur hat also Edinburg einen gelinderen Winter und einen kühleren Sommer als Tübingen. Ein ähnliches Verhältniß findet zwischen Prag und Dublin Statt; beide Orte haben eine gleiche mittlere Jahrestemperatur von 9,5°. Für Dublin ist aber die mittlere Temperatur des kältesten Monats 4,3°, für Prag ist sie — 2,46°; dagegen ist die mittlere Temperatur des heißesten Monats für Dublin nur 16°, für Prag aber 20,2°.

Um die Wärmeverhältnisse eines Landes zu kennen, reicht es also nicht hin, daß man weiß, welches seine mittlere Jahrestemperatur ist, man muß auch wissen, wie die Wärme auf die verschiedenen Jahreszeiten vertheilt ist. Diese Vertheilung kann man auf einer Isothermenkarte dadurch zeigen, daß man, nach Humboldt's Beispiele, an den verschiedenen Stellen einer und derselben Isotherme die mittlere Sommer- und Wintertemperatur beischreibt, was in unserer Isothermenkarte wegen ihrer Kleinheit nicht möglich war; man sieht alsdann bald, daß gerade in der Nähe der convexen Gipfel der Isothermen auch die Differenzen zwischen der mittleren Sommer- und Wintertemperatur am geringsten sind; dieselben Ursachen also, welche machen, daß die Isothermen an den Westküsten von Europa und Amerika so hoch nach Norden steigen, machen auch die Differenz zwischen der Sommer- und Wintertemperatur geringer. Eine sehr gute Uebersicht in Beziehung auf die Vertheilung der Wärme zwischen Winter und Sommer gewährt eine Karte, in welcher man alle Orte durch Curven verbindet, welche gleiche mittlere Wintertemperatur, und diejenigen, welche gleiche mittlere Sommertemperatur haben. Die Linien gleicher mittlerer Wintertemperatur heißen Isochimenen, die Linien gleicher mittlerer Sommertemperatur heißen Isotheren. Fig. 543 stellt ein Kärtchen von Europa mit den Isotheren und den Isochimenen von 5 zu 5 Grad dar.

Diejenigen Curven, deren entsprechende Temperaturen an der rechten Seite der Karte stehen, sind die Isochimenen, die anderen sind die Isotheren. Man übersieht aus dieser Karte leicht, daß die Westküste des südlichen Theiles von Norwegen, Dänemark, ein Theil von Böhmen und Ungarn, Siebenbürgen, Bessarabien und die Südspitze der Halbinsel Krim gleiche mittlere Wintertemperatur von 0° haben. Böhmen hat aber einen gleichen Sommer mit dem Ausflusse der Garonne, und in der Krim ist der Sommer noch weit wärmer. Dublin hat eine gleiche mittlere Wintertemperatur, nämlich 5°, mit Nantes, Oberitalien und Constantinopel und gleiche mittlere Sommerwärme mit Drontheim und Finnland.

Die Isothere von 20° geht von dem Ausflusse der Garonne ungefähr über Straßburg und Würzburg nach Böhmen, der Ukraine, dem Lande der Donischen Kosaken und geht etwas nördlich vom caspischen Meere vorbei; wie

ungleich ist aber die mittlere Wintertemperatur an verschiedenen Orten dieser Isothere! An der Westküste von Frankreich ist sie 5°, in Böhmen 0°, in der Ukraine — 5° und etwas nördlich vom caspischen Meere gar — 10°.

Fig. 543.



Ursachen der Inflexion der Isothermen. Obgleich wir im Stande 214
sind, im Allgemeinen die Ursachen anzugeben, welche die Abweichung der Isothermen an den Parallelkreisen bedingen, so kennen wir doch die hier mitwirkenden störenden Elemente viel zu wenig, um die Gestalt der Isothermen aus theoretischen Betrachtungen abzuleiten.

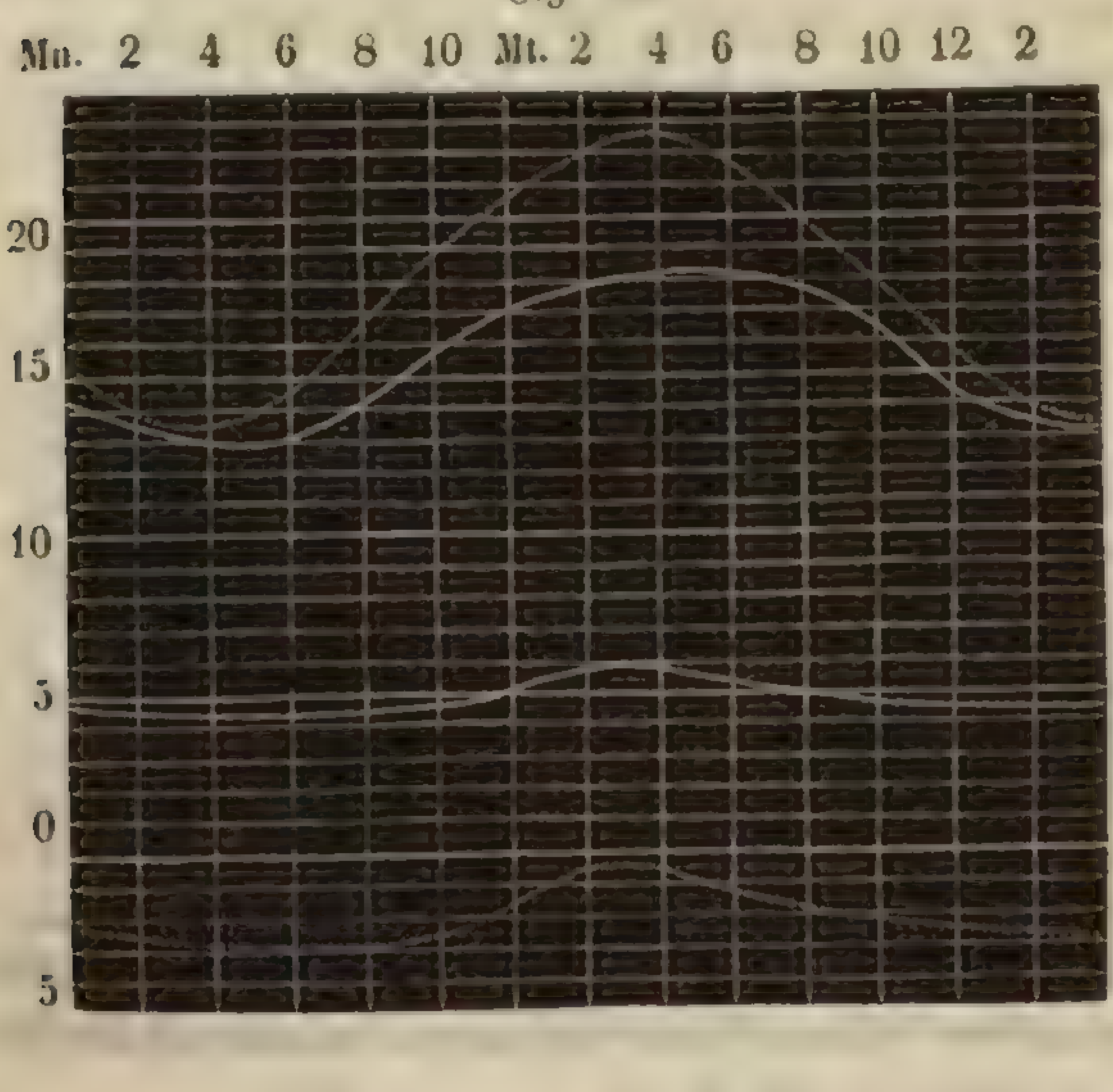
Die ungleiche Vertheilung von Land und Wasser auf unserer Erdoberfläche veranlaßt eine ungleiche Erwärmung an verschiedenen Stellen, sie bedingt größtentheils die Richtung der Luft- und Meerströmungen, durch welche entweder die höhere Temperatur der Tropen nach den Polen hin, oder umgekehrt die Kälte der Polarmeere dem Aequator genähert wird; die Wirkung, welche die Sonnenstrahlen an irgend einem Orte der Erde hervorzubringen im Stande sind, hängt von der Configuration des Landes, von der Beschaffenheit des Bodens ab, sie wird durch die Richtung der herrschenden Winde, durch Gebirgszüge modificirt; die klimatischen Verhältnisse einer Gegend sind also das Resultat mannigfacher Ursachen, welche sich theils combiniren, theils gegenseitig modificiren, und welche bald mehr allgemeiner, bald mehr localer Natur sind, welche bald direct, bald indirect wirken. »Die physische Geographie,« sagt Humboldt, »hat ihre numerischen Elemente wie das Weltsystem, und wir werden in der Kenntniß dieser Elemente in dem Maaße fortschreiten, als wir die That-

sachen besser benutzen lernen, um in ihnen die allgemeinen Gesetze mitten in dem Zusammenwirken der partiellen Störungen zu erkennen.«

Ganz abgesehen davon, daß die ungleiche Vertheilung von Land und Wasser auf unserer Erdoberfläche die Richtung der Luft- und Meerströmungen modificirt, bewirkt sie auch direct eine ungleiche Wärmevertheilung, weil das feste Land, die Wärmestrahlen leichter absorbirend und ausstrahlend, sich schneller erwärmt und leichter wieder erkaltet als das Meer, welches, überall von gleichförmiger Natur, wegen seiner Durchsichtigkeit, wegen der bedeutenden specifischen Wärme des Wassers nicht so schnell erwärmt wird, die einmal erlangte Wärme aber auch nicht so schnell abgiebt. Die Temperatur der Meeresoberfläche ist deshalb weit gleichförmiger, sowohl die täglichen als auch die jährlichen Temperaturschwankungen sind ungleich geringer als in der Mitte der großen Continente, und dadurch ist gerade der schon oben erwähnte Unterschied zwischen Land- und Seeklima bedingt, welcher dadurch größer wird, daß an den Küsten der nördlich gelegenen Länder der Himmel meistens bedeckt ist, was sowohl den wärmenden Einfluß der Sonnenstrahlen im Sommer mäßigt, als auch die starke Erkaltung des Bodens durch Wärmestrahlung im Winter hindert.

Inseln, welche mitten in einem großen Meere liegen, Küsten und namentlich Halbinseln werden das weniger veränderliche Seeklima theilen, während die Unterschiede zwischen Sommer- und Wintertemperatur um so größer sind, je weiter man sich von den Küsten entfernt. Schon in vorigem Paragraph wurden Beispiele angeführt, welche zeigen, wie bei gleicher mittlerer Jahreswärme die Vertheilung der Wärme auf die verschiedenen Jahreszeiten oft sehr ungleich ist; wie an Orten, welche ein Küstenklima haben, die Temperaturschwankungen weit geringer sind als für solche Orte, welche mitten im Lande liegen.

Fig. 544.



Die Fig. 544 zeigt nicht allein, wie die täglichen Variationen des Thermometers für Leith (Seeklima) geringer sind als für Halle (Continentalklima), sondern auch, daß die Temperaturen des heißesten und kältesten Monats für Leith näher beisammen liegen als für Halle.

Noch weit größere Unterschiede zwischen Land- und Seeklima ergeben sich, wenn man die Temperaturverhältnisse der Westküsten von Europa mit denen des nördlichen Asiens vergleicht. Um das Verhältniß der mittleren Jahreswärme zu der Vertheilung der Wärme leicht übersehen zu können, ist in den folgenden der Tabelle Seite 623 entnommenen Beispielen die mittlere Jahreswärme vor, die mittlere Sommertemperatur über, die mittlere Wintertemperatur unter einen Horizontalstrich gesetzt.

Küstenklima:

Nordcap . . . . 0,1 $\frac{6,4}{-\,4,6}$

Reikiavig . . . 4,0 $\frac{12,0}{-\,1,6}$

Continentalklima:

Jakuzk . . — 9,7 $\frac{17,2}{-\,38,9}$

Irkuzk . . — 0,2 $\frac{15,9}{-\,17,6}$

Moskau . — 3,6 $\frac{16,8}{-\,10,3}$

Das Klima der Westküsten von Europa ist ein beständiges, das Klima des östlichen Europa's und des nördlichen Asiens dagegen ist ein excessives, wie es Buffon nennt.

Welchen Einfluß solche klimatischen Verschiedenheiten auf die Vegetation ausüben müssen, ist klar. An mehreren Orten Sibiriens, in Jakuzk z. B., wo die mittlere Jahrestemperatur — 9,7° ist, die mittlere Wintertemperatur aber — 38,9° beträgt, wird während des kurzen, aber heißen Sommers Weizen und Roggen auf einem Boden gebaut, welcher in einer Tiefe von 3 Fuß beständig gefroren bleibt; dagegen ist auf der Insel Island, bei ungleich höherer Jahrestemperatur und bei einer unbedeutenden Winterkälte an den Bau von Cerealien nicht mehr zu denken, weil die niedrige Sommertemperatur nicht hinreicht, sie zur Reife zu bringen.

Im nordöstlichen Irland, wo im Winter kaum Eis friert, in gleicher Breite mit Königsberg, gedeiht die Myrthe so kräftig wie in Portugal, auf den Küsten von Devonshire überwintert die Camellia japonica und die Fuchsia coccinea im Freien; der Winter ist in Plymouth nicht kälter als in Florenz und Montpellier; der Weinbau gedeiht aber nicht in England, weil die Rebe wohl eine ziemlich starke Winterkälte vertragen kann, aber eines heißen Sommers bedarf, wenn die Trauben reifen und einen trinkbaren Wein liefern sollen. In Astrachan, welches mit dem Nordcap gleiche Winterkälte hat, reifen die herrlichsten Trauben. Ungarn bringt ausgezeichneten Wein hervor, obgleich seine Winter kälter sind als im nördlichsten Schottland, wo kein Obstbaum mehr gedeiht, ja selbst kälter als auf den Faroerinseln, wo auch die Buche und die Eiche nicht mehr fortkommt.

Ueberall, wo die mittlere Jahreswärme unter 17° ist, findet das Erwachen der Natur im Frühlinge in demjenigen Monate Statt, dessen mittlere Temperatur 6 bis 8° beträgt. Der Pfirsischbaum blüht, wenn die mittlere Temperatur eines Monats 5,5°, der Pflaumenbaum, wenn sie 8,2° erreicht. Die Birke schlägt bei einer mittleren Monatstemperatur von 11° aus; in Rom fin-

det dies im März, in Paris Anfangs Mai, in Upsala in der Mitte Juni Statt; auf dem Nordcap kommt die Birke nicht mehr fort, weil die mittlere Temperatur des heißesten Monats nur 8,1° beträgt.

Der mildernde Einfluß des Meeres wird auf ein Land verhältnißmäßig zu seiner Oberfläche um so bedeutender seyn, je größer der meerumspülte Umfang desselben ist. Je zerrissener die Küsten eines Landes sind, d. h. je mehr Halbinseln in das Meer, und je tiefer bedeutende Meerbusen in das Land hineinragen, desto gleichmäßiger wird sein Klima seyn. Europa verdankt seine vortheilhaften klimatischen Verhältnisse großentheils seiner eigenthümlichen Configuration.

Der eben besprochene Einfluß des Meeres ist mehr localer Natur, er bewirkt eine gleichmäßigere Vertheilung der Wärme auf die verschiedenen Jahreszeiten, er trägt aber weniger zur Erhöhung oder Erniedrigung der mittleren Jahrestemperatur bei. Die Krümmung der Isothermen ist nicht eine directe, sondern eine secundäre Wirkung der ungleichen Vertheilung von Wasser und Land, insofern dadurch die Luft- und Meeresströmungen modificirt werden.

In der nördlichen gemäßigten Zone sind die Südwest- und die Nordostwinde die vorherrschenden. Der Südwestwind kommt aus den Aequatorialgegenden und führt die Wärme der Tropen zum Theil nach den kälteren Ländern; dieser erwärmende Einfluß der Südwestwinde wird aber in solchen Ländern vorzugsweise merklich werden, welche der südwestlichen Luftströmung am meisten ausgesetzt sind, und somit erklärt sich, daß die Westküsten der großen Continente wärmer sind als die Ostküsten, daß die Isothermen in Europa, welches eigentlich nur eine halbinselförmige Verlängerung des asiatischen Continents ist, und an den Westküsten von Nordamerika weiter nach Norden steigen als im Inneren von Asien und an den Ostküsten von Nordamerika.

Ein zweiter Umstand, welchem Europa sein verhältnißmäßig warmes Klima verdankt, ist der, daß sich im Süden von Europa, in der Aequatorialzone, nicht ein Meer, sondern ein ausgebreitetes Land, nämlich Afrika, befindet, dessen großentheils kahler und sandiger Boden unter dem Einflusse der senkrecht auffallenden Sonnenstrahlen außerordentlich heiß wird. Ein warmer Luftstrom steigt beständig von den glühendheißen Sandwüsten in die Höhe, um sich dann in Europa wieder herabzusenken.

Endlich trägt eine unter dem Namen des Golfstroms bekannte Meeresströmung sehr zur Milderung des europäischen Klimas bei. Der Ursprung dieses Stromes ist im mexicanischen Meerbusen zu suchen, wo das Meerwasser bis zu einer Temperatur von 31° erwärmt wird. Zwischen Cuba und Florida aus dem mexicanischen Meerbusen heraustretend, folgt der Strom anfangs den amerikanischen Küsten, um sich dann mit stets zunehmender Breite und abnehmender Temperatur östlich nach Europa hin zu wenden. Wenn auch der Golfstrom selbst nicht bis an die Küsten von Europa reicht, so verbreitet sich doch sein warmes Wasser, namentlich unter dem Einflusse der vorherrschenden Südwestwinde, in den europäischen Gewässern, was schon daraus hervorgeht, daß man an den westlichen Küsten von Irland und an den Küsten von Nor-

wegen Früchte von Bäumen findet, die in der heißen Zone Amerikas wachsen; die West- und Südwestwinde bleiben also lange mit einem Meerwasser in Berührung, dessen Temperatur zwischen dem 45. und 50. Breitengrade selbst im Januar nicht unter 9° sinkt. Durch den Einfluß dieses Golfstroms ist das nördliche Europa durch ein eisfreies Meer von dem Gürtel des Polareises getrennt; selbst in der kältesten Jahreszeit erreicht die Gränze des Polareises nicht die europäischen Küsten, so daß man mitten im Winter vom Nordcap bis zur Südspitze von Spitzbergen fahren kann. Sabine fand zwischen dem 65. und 70. Breitengrade die mittlere Temperatur des atlantischen Oceans an der Oberfläche 5,5°, während bei gleicher Breite die mittlere Temperatur des europäischen Continents schon unter dem Gefrierpunkte ist.

Während so alle Umstände zusammenwirken, um die Temperatur in Europa zu erhöhen, wirken im nördlichen Asien mehrere Ursachen zusammen, um die Isothermen bedeutend herabzusenken. Im Süden von Asien liegen zwischen den Wendekreisen keine bedeutenden Ländermassen, nur einige asiatische Halbinseln ragen in die heiße Zone hinein; das Meer aber erwärmt sich nicht so stark wie die afrikanischen Wüsten, theils weil das Wasser die Wärmestrahlen ungleich weniger absorbirt, theils aber auch, weil bei der fortwährenden Verdampfung von Wasser auf der Oberfläche des Meeres sehr viel Wärme gebunden wird. Die warmen Luftströme, welche, aus dem Becken des indischen Oceans aufsteigend, die Wärme der Tropen dem inneren und nördlichen Asien zuführen könnten, werden aber noch durch die ungeheuren Gebirgsketten im Süden von Asien aufgehalten, während das nach Norden hin allmälig sich verflachende Land den Nord- und den Nordostwinden preisgegeben ist. Während sich Europa nicht weit nach Norden erstreckt, ragt Asien weit in das nördliche Eismeer hinein, welches, hier allen wärmenden Einflüssen entzogen, durch welche die Temperatur der europäischen Meere erhöht werden, fast immer mit Eis bedeckt ist. Ueberall reichen die Nordküsten von Asien bis an die Wintergränze des Polareises, und die Sommergränze dieses Eises entfernt sich nur auf kurze Zeit an einigen Stellen von den Küsten; daß aber dieser Umstand die Temperatur bedeutend erniedrigen muß, ist klar, wenn man bedenkt, wie viel Wärme bei der Schmelzung solcher Eismassen gebunden wird.

Die bedeutende Senkung der Isothermen im Inneren und an den Ostküsten von Nordamerika rührt zum Theil daher, daß die Südwestwinde hier nicht mehr Seewinde, sondern Landwinde sind und deshalb hier nicht mehr den mildernden Einfluß ausüben können wie auf den Westküsten. Während die europäischen Küsten von wärmerem Wasser bespült sind, ziehen sich an den Ostküsten von Nordamerika kalte Meerströmungen von Norden nach Süden. Eine solche Strömung, von Spitzbergen herkommend, geht zwischen Island und Grönland hindurch und vereinigt sich dann mit den aus der Hudsons- und Baffinsbay kommenden Strömungen, um an der Küste von Labrador herab, bei Neufoundland vorbei zu treiben und sich unter dem 44. Breitengrade in den Golfstrom zu ergießen. Diese arktische Strömung trägt die Kälte der Polarregionen theils durch die niedrige Temperatur des Wassers, größtentheils aber

durch die schwimmenden Eisberge in die südlicheren Gegenden, und so ist diese Strömung ein Hauptgrund der bedeutenden Senkung der Isothermen an den Ostküsten von Amerika.

215 **Abweichungen vom normalen Gang der Wärme.** Die Normaltemperaturen des heißesten und des kältesten Monats geben uns durchaus noch nicht die Gränzen an, zwischen welchen an einem Orte das Thermometer schwanken kann, denn es sind ja selbst nur Mittelzahlen; dann aber schwankt ja auch, wie wir oben gesehen haben, die mittlere Temperatur eines und desselben Monats von einem Jahre zum anderen oft sehr bedeutend. So kommt es denn auch, daß selbst in Gegenden, die sich sonst eines warmen Klimas und eines milden Winters erfreuen, manchmal eine ganz außerordentliche Kälte eintritt; so war z. B. im Jahre 1507 der Hafen von Marseille in seiner ganzen Ausdehnung zugefroren, wozu wenigstens eine Kälte von — 18° erforderlich war; im Jahre 1658 zog Karl X. mit seinem ganzen Heere sammt dem schweren Geschütze über den kleinen Belt. Im Jahre 1709 war der Meerbusen von Venedig und die Häfen von Marseille, Genua und Cette zugefroren, und 1789 fiel das Thermometer zu Marseille auf — 27°. Die folgende Tabelle giebt die höchsten und niedrigsten Temperaturen an, welche an verschiedenen Orten beobachtet worden sind.

	Minimum.	Maximum.	Differenz.
Surinam	21,3°	32,3°	11,0°
Pondicheri	21,6	44,7	23,1
Esna (Aegypten) . . .		47,4	
Cairo	9,1	40,2	31,1
Rom	— 5,9	38,0	43,9
Paris	— 23,1	38,4	61,5
Prag	— 27,5	35,4	62,9
Moskau	— 38,8	32,0	70,8
Fort Reliance (Nordamerika)	— 56,7		

Der wirkliche Gang der mittleren Temperatur weicht bald mehr, bald weniger von dem normalen Gange ab. Dove hat zuerst diese Abweichungen vom normalen Gange einer genaueren Untersuchung unterworfen.

Für eine große Anzahl von Orten hat er den wirklichen Gang der Wärme mit dem normalen Gange verglichen und Tabellen entworfen, in welchen man für eine Reihe von Orten angegeben findet, wie viel die mittleren Temperaturen der zwölf Monate in verschiedenen Jahren über oder unter der Normaltemperatur lagen.

Als Beispiel ist folgende kleine Tabelle aus den Tabellen des Dove'schen Werkes (Ueber die nicht periodischen Aenderungen der Temperaturvertheilung auf der Oberfläche der Erde, Berlin 1840) ausgezogen:

1 8 2 8.

	Marietta.	Concordia.	London.	Berlin.	Petersburg.	Kasan.
Januar	4,25	1,29	1,71	0,50	— 0,77	— 0,92
Februar	3,68	3,86	0,56	— 0,72	— 3,29	— 4,70
März	2,06	0,68	0,70	0,53	— 0,41	0,44
April	— 1,94	— 1,35	0,06	0,80	0,33	1,58
Mai	0,14	— 0,07	0,24	— 0,13	1,69	1,88
Juni	1,39	2,00	0,44	— 0,13	0,86	1,40
Juli	— 0,86	1,20	— 0,07	0,43	1,47	— 0,14
August	0,66	0,39	— 0,31	— 0,63	0,95	0,77
September	— 0,41	1,45	0,96	0,33	— 0,26	— 1,02
October	— 0,52	— 0,91	— 0,48	— 0,10	0,15	0,39
November	0,95	0,22	0,55	0,37	— 0,57	— 1,84
December.	1,56	2,58	2,09	1,49	— 2,20	— 4,21

Aus dieser Tabelle ersehen wir z. B., daß zu Kasan im Jahre 1828 die mittlere Temperatur des Monats Februar um 4,7° niedriger, die des Mai hingegen 1,88° höher war als die Normaltemperatur dieser Monate. — Man ersieht ferner daraus, daß die mittlere Temperatur des Februar in Nordamerika (Marietta und Concordia) fast um 4 Grad zu hoch war, daß sie in London nur unbedeutend über, in Berlin unbedeutend unter der Normaltemperatur war, daß dagegen im östlichen Europa und Asien eine ungewöhnliche Kälte herrschte; denn in Petersburg war die Mitteltemperatur des Februar 3,29°, in Kasan war sie 4,7° zu niedrig. Das westliche Europa hatte also nahe die Normaltemperatur, auf der einen Seite war es wärmer, auf der anderen war es kälter.

Solche Tabellen hat nun Dove für eine größere Anzahl von Orten und für eine größere Reihe von Jahren zusammengestellt. Durch solche Tabellen ist man allein im Stande, die Gesetze der nicht periodischen Temperaturschwankungen, der Abweichungen von der Normaltemperatur zu übersehen.

Wenn das Beobachtungsmaterial für Europa auch ziemlich vollständig ist, so ist es doch für Amerika und Asien noch gar mangelhaft, so daß manche wichtige Frage über den Zusammenhang der Abweichungen von der Normaltemperatur unentschieden bleiben muß.

Die mittleren Temperaturen der einzelnen Monate weichen bald mehr bald weniger von ihren Normaltemperaturen ab. Man erhält ziemlich nahe die Gränzen, zwischen welchen die mittlere Temperatur eines Monats an einem Orte schwankt, wenn man aus einer möglichst langen Reihe von Beobachtungsjahren die höchste und niedrigste mittlere Temperatur dieses Monats aufsucht. Die Differenz dieses höchsten und tiefsten Monatsmittels nennt Dove die absolute Veränderlichkeit des Monats.

So ist z. B. 14,18⁰ die absolute Veränderlichkeit des Monats Januar für Berlin, d. h. für die ganze Reihe von Jahren, aus welchen Beobachtungen vorhanden sind, war die höchste mittlere Temperatur des Januar 14,18⁰ höher als die niedrigste.

Die folgende Tabelle giebt die absolute Veränderlichkeit der zwölf Monate des Jahres, wie sie sich im Durchschnitt für die angeführten Gegenden ergiebt:

	Italien.	Alpen.	Deutschland.	Nordeuropa.	England.
Januar	5,47	8,89	9,44	10,51	5,88
Februar	5,38	7,09	7,83	10,29	4,86
März	5,32	6,66	5,97	8,17	4,44
April	4,67	6,45	4,74	6,96	3,97
Mai	4,88	5,26	5,45	5,99	3,88
Juni	5,17	5,06	3,95	5,76	3,98
Juli	3,68	4,99	4,71	5,54	3,51
August	4,45	5,36	5,01	5,82	3,63
September	4,26	4,65	3,41	5,35	3,63
October	4,25	5,10	4,45	6,76	4 20
November	4,77	5,99	5,23	7,43	4,40
December	5,29	9,10	9,72	9,66	5,04
Jahr	2,21	2,59	2,57	2,64	2 28

Man sieht aus dieser Tabelle, daß in unseren gemäßigten Zonen die absolute Veränderlichkeit im Allgemeinen nach Norden hin zunimmt. Sie ist größer in den Alpen als in Italien, größer in Deutschland als in den Alpen, größer in Nordeuropa als in Deutschland.

In England ist die Veränderlichkeit geringer als in Deutschland, in Deutschland aber ist sie größer als im nördlichen Asien.

In den Wintermonaten ist die Veränderlichkeit am größten; der beständigste Monat ist dagegen in unserer gemäßigten Zone der September.

Bedeutendere Abweichungen von dem normalen jährlichen Gange der Wärme treten nicht local auf, sondern sie sind über größere Strecken verbreitet; so war z. B. der Winter von 1821 auf 1822 in Europa sehr gelind, im December 1829 aber herrschte im ganzen westlichen Europa eine strenge Kälte; niemals ist jedoch eine gleichnamige bedeutende Abweichung über eine ganze Hemisphäre verbreitet. In der Regel ist die nördliche Halbkugel in der Richtung von Norden nach Süden in zwei Hälften getheilt, auf welchen entgegengesetzte Abweichungen von der normalen Temperatur beobachtet werden; ungefähr in der Mitte dieser beiden Hälften sind die Abweichungen am größten; da, wo sie aneinander stoßen, herrscht eine mittlere Temperatur. So war der Februar

1828 in Kasan und Irkuzk sehr kalt, in Nordamerika ungewöhnlich gelind, Europa aber lag indifferent zwischen diesen entgegengesetzten Abweichungen. Im December 1829 fiel das Maximum der Kälte auf Berlin, in Kasan war diese Kälte noch sehr merklich; in Nordamerika aber herrschte ein ungewöhnlich gelindes Wetter, dagegen war die Kälte des Decembers 1831 auf Amerika beschränkt.

Meistens herrschen in Europa und Asien dieselben, in Amerika aber die entgegengesetzten Abweichungen vom mittleren Gange der Wärme.

Manchmal, jedoch seltener, läuft die Gränzlinie entgegengesetzter Abweichungen von Osten nach Westen.

Eine Abweichung von der mittleren Temperatur dauert oft längere Zeit hindurch in demselben Sinne fort. Vom Juni 1815 bis zum December 1816 herrschte in Europa eine ungewöhnlich niedrige Temperatur, was auch die Mißernte von 1816 zur Folge hatte; das Jahr 1822 war bekanntlich ein ausgezeichnetes Weinjahr; die ungewöhnliche Wärme dauerte damals vom November 1821 bis zum November 1822.

Daraus folgt nun auch, daß die Meinung, als ob auf einen kalten Winter ein heißer Sommer, auf einen warmen Winter aber ein kühler Sommer folgen müsse, ganz irrig ist, indem häufig das Gegentheil stattfindet, wie man schon aus den beiden eben angeführten Beispielen sieht; so folgte ja auch der heiße Sommer 1834 auf einen sehr gelinden Winter.

Die Abweichungen von dem mittleren Gange der Wärme sind im Winter meist auffallender als im Sommer.

Sonach ist es höchst wahrscheinlich, daß stets dasselbe Wärmequantum, nur ungleich, auf der Erdoberfläche vertheilt sey. Ein kalter Winter ist die Folge eines längere Zeit vorherrschenden Nordostwindes, ein kühler Sommer aber die Folge vorherrschender Südwestwinde; diese sich abwechselnd verdrängenden Luftströmungen sind, wie Dove gezeigt hat, das Bedingende unserer Witterungsverhältnisse. Wenn auf einen kalten Winter ein heißer Sommer folgen sollte, so müßte ein ganzes Jahr hindurch der Nordost-, wenn aber auf einen milden Winter ein kühler Sommer folgen sollte, so müßte ein ganzes Jahr hindurch der Südwestwind vorherrschen.

Temperatur des Bodens. Wir haben bisher nur immer die Temperatur 216
der Luft, aber nicht die Temperatur der oberen Bodenschichten besprochen, welche je nach der Natur der Bodenfläche oft bedeutend von der Lufttemperatur verschieden seyn kann; ein nackter, des Pflanzenwuchses beraubter, steiniger oder sandiger Boden wird durch die Absorption der Sonnenstrahlen weit heißer, ein mit Pflanzen bedeckter Boden, z. B. ein Wiesengrund, wird durch die nächtliche Strahlung weit kälter als die Luft, deren Temperatur schon durch die fortwährenden Luftströmungen mehr ausgeglichen wird. In den afrikanischen Wüsten steigt die Hitze des Sandes oft auf 50 bis 60°. Ein mit Pflanzen bedeckter Boden bleibt kühler, weil die Sonnenstrahlen ihn nicht direct treffen können, die Pflanzen selbst binden gewissermaßen eine große Wärmemenge, indem durch die Vegetation eine Menge Wasser verdunstet; sie erkalten aber, wie wir bald näher

sehen werden, wenn wir die Thaubildung betrachten, bei ihrem großen Emissionsvermögen durch Ausstrahlung der Wärme so stark, daß die Temperatur des Grases oft 6 bis 9 Grad unter die der Luft sinkt. Im Innern der Wälder ist die Luft beständig kühl, weil die dichte Laubdecke auf dieselbe Weise abkühlend wirkt wie eine Grasdecke, und weil die an den Gipfeln der Bäume abgekühlte Luft sich niedersenkt.

Wegen des unvollkommenen Wärmeleitungsvermögens kann die Wärme der obersten Bodenschichten nur nach und nach in das Innere eindringen; wenn die Oberfläche aber erkaltet, so verlieren die tieferen Bodenschichten weniger schnell ihre Wärme; in einer geringen Tiefe werden deshalb die Temperaturschwankungen weit geringer seyn als an der Oberfläche selbst. In Deutschland verschwinden schon bei einer Tiefe von 6 Decimetern die täglichen Temperaturschwankungen, und in einer noch größeren Tiefe verschwinden sogar die jährlichen Variationen, so daß hier beständig eine Temperatur herrscht, welche nur wenig von der mittleren Temperatur des Ortes abweicht.

Seit 1671 hatte Cassini bemerkt, daß die Temperatur der Keller des Observatoriums zu Paris während des ganzen Jahres sich nicht ändert. Im Jahre 1730 machte Lahire dieselbe Beobachtung. Der Graf Cassini, Mitglied der Akademie der Wissenschaften, übersah zuerst die große Wichtigkeit dieser Erscheinung, im Jahre 1771 fing er an, sie durch eine Reihe von Versuchen näher zu untersuchen, und im Jahre 1783 stellte er gemeinschaftlich mit Lavoisier in den Kellern des Observatoriums einen sehr empfindlichen Apparat auf, welcher entscheidende Resultate liefern mußte. Dieser Apparat, welcher noch jetzt daselbst aufgestellt ist, hat folgende Einrichtung.

Auf dem Boden des Kellers, in einer Tiefe von 27,6 Metern, erhebt sich ein massiver Steinblock, von 1,3 Metern Höhe, auf welchem ein mit feinem Sande gefülltes Glasgefäß steht; in diesem Sande steckt die Kugel eines Thermometers, dessen Theilung auf Glas geätzt ist. Das Thermometer ist von Lavoisier selbst construirt und mit wohl gereinigtem Quecksilber gefüllt; seine Kugel hat 7 Centimeter im Durchmesser, und die Röhre ist sehr fein, so daß ein Grad eine Länge von ungefähr 95 Millimetern einnimmt, daß also $^1/_{100}$ Grad noch fast eine Länge von 1^{mm} hat; man kann demnach noch die Hälfte von $^1/_{100}$ Grad ablesen. Das Thermometer geht nur bis auf 16°, es hat aber oben ein kleines Behälter, in welches das Quecksilber hineinsteigen kann, wenn etwa die Temperatur über 16° steigen sollte.

Dieses Thermometer zeigt nun eine constante Temperatur von 11,82° C., und diese Temperatur hat sich seit einem halben Jahrhundert nicht geändert.

Die Tiefe, in welcher die jährlichen Temperaturschwankungen verschwinden, ist nicht in allen Gegenden dieselbe; sie hängt von der Leitungsfähigkeit des Bodens, vorzüglich aber auch von der Größe des Temperaturunterschiedes der heißesten und kältesten Jahreszeit ab. In der heißen Zone Amerikas fand Boussingault schon in einer Tiefe von 5 bis 6 Decimetern eine constante Temperatur, weil hier die Wärme ziemlich gleichförmig über die verschiedenen Zeiten des Jahres verbreitet ist.

Wie mit zunehmender Tiefe die jährlichen Veränderungen der Temperatur abnehmen, übersieht man aus folgenden Resultaten, welche die zu Brüssel in dieser Beziehung von 1834 bis 1837 angestellten Versuche geliefert haben.

Tiefe.	Schwankungen der Temperatur im Laufe eines Jahres.
0,19m	13,28°
0,45	12,44
0,75	11,35
1,00	10,58
1,95	7,59
3,90	4,49
7,80	1,13

Vergleicht man die Beobachtungen von Paris, Straßburg, Zürich und Brüssel, so ergiebt sich, daß die jährlichen Schwankungen ungefähr in einer Tiefe von 24 Metern verschwinden.

Da die Wärme nur allmälig von der Oberfläche in die Tiefe eindringt, so ist klar, daß in der Tiefe das Maximum der Temperatur später erreicht wird als in der Atmosphäre, wie dies auch folgende von Forbes in Edinburg in verschiedenen Bodenarten angestellte Versuche bestätigen.

Bodenart.	Jährliche Temperaturschwankung in einer Tiefe von				Zeitpunkt des Temperaturmaximums in einer Tiefe von			
	1m	1,9m	3,9m	7,8m	1m	1,9m	3,9m	7,8m
Trapp . .	10,53	6,61°	3,5°	0,80°	6. Aug.	2. Sept.	17. Oct.	8. Jan.
Sand . .	11,23	8,30	4,19	1,16	31. Juli	24. Aug.	7. Oct.	30. Dec.
Sandstein .	9,58	7,72	5,22	2,28	5. Aug.	19. Aug.	11. Sept.	11. Nov.

In solchen Gegenden, deren mittlere Jahrestemperatur unter dem Gefrierpunkte ist, muß in einer bestimmten Tiefe der Boden stets gefroren seyn. So ist z. B. zu Jakuzk, dessen mittlere Jahrestemperatur — 9,7° ist, wie schon oben erwähnt wurde, trotz der bedeutenden Sommerwärme in einiger Tiefe der Boden beständig gefroren. In der Hoffnung, Wasser zu finden, legte Ermann hier einen Brunnen an, fand aber in einer Tiefe von 50 Fuß noch eine Temperatur von — 7,5°; dieser Brunnen wurde später durch Schergin bis auf 358 Fuß vertieft. Folgendes sind die Temperaturen des Bodens in verschiedenen Tiefen:

15,2m	— 7,5°
23,5	— 6,9
36,3	— 5,0
116,5	— 0,6

Die stationäre Temperatur des Bodens wächst also mit zunehmender Tiefe. Dasselbe Resultat gaben auch an anderen Orten die Temperaturbestimmungen des Bodens in großen Tiefen, die man in tiefen Schachten und in artesischen Brunnen gemacht hat. Im Durchschnitt wächst die Temperatur für eine jedesmalige Vertiefung von 31 bis 32 Metern um 1°.

217 **Quellentemperatur.** Die meisten wasserreichen Quellen haben eine Temperatur, welche sich in den verschiedenen Jahreszeiten nur sehr wenig ändert; in unserer Hemisphäre erreichen sie meistens ihre höchste Temperatur im September, die niedrigste im März; die Differenz ihrer höchsten und ihrer niedrigsten Temperatur beträgt in der Regel nur 1 bis 2°. Die mittlere Temperatur der Quellen ist, wie die Temperatur der Erdschichten, aus welchen sie kommen, etwas höher als die mittlere Temperatur der Luft; für höhere Breiten steigt dieser Ueberschuß, wie Wahlenberg gezeigt hat, auf 3 bis 4°; dagegen machen es einige Beobachtungen, welche in der heißen Zone gemacht wurden, wahrscheinlich, daß dort die mittlere Quellentemperatur etwas niedriger ist als die der Luft.

Quellen, welche aus größeren Tiefen kommen, haben eine weit höhere Temperatur, wie dies bei vielen Salzquellen und sonstigen Mineralquellen der Fall ist. Das Wasser mancher Quellen hat fast die Temperatur des Siedepunktes.

218 **Temperatur der Seen und Flüsse.** In den Seen erleiden die oberen Wasserschichten ziemlich bedeutende Temperaturveränderungen; sie können im Winter zufrieren, während sie im Sommer oft eine Temperatur von 20 bis 25° erreichen; in der Tiefe findet dies jedoch nicht Statt. Saussure hat in dieser Beziehung die meisten Seen der Schweiz untersucht und die merkwürdige Thatsache bestätigt, daß in großen Tiefen die Temperatur der Seen ungefähr 5° beträgt.

Im Sommer wirken zwei Ursachen, um die Temperatur der oberen Wasserschichten zu erhöhen; die warme Luft streicht über den Wasserspiegel hin, und die von der Sonne kommenden Wärmestrahlen werden, indem sie mehr oder weniger tief in das Wasser eindringen, von demselben absorbirt. Die erwärmten Schichten mischen sich durch die Wellenbewegung, sie mischen sich aber nicht mit den Gewässern der Tiefe, weil sie wegen ihres geringeren specifischen Gewichtes oben schwimmen und weil selbst die heftigste Wellenbewegung doch nur auf eine geringe Tiefe merklich ist. Im Sommer und im Herbst muß also die Temperatur des Wassers in der Tiefe niedriger seyn als an der Oberfläche.

Im Winter erkalten die oberen Wasserschichten, weil sie mit der kalten Luft in Berührung sind und weil sie namentlich in der Nacht ihre Wärme ausstrahlen. Die erkaltende Schicht wird dichter, sie sinkt nieder und mischt sich mit dem wärmeren Wasser der tieferen Schichten; sobald sie sinkt, wird sie durch eine andere ersetzt, welche ebenfalls erkaltet und niedersinkt u. s. w. Wenn das Wasser kein Dichtigkeitsmaximum hätte, so würden auch im Winter die tiefsten Schichten die kältesten seyn, die Oberfläche könnte also nicht eher die Temperatur von 0° annehmen, als bis die ganze Wassermasse bis auf den Boden eben so weit erkaltet wäre, und die Folge davon würde seyn, daß die

Seen bis auf den Grund zufrieren müßten. Weil das Wasser aber ein Dichtigkeitsmaximum hat, ist der Hergang ein anderer. Sobald die oberen Wasserschichten die Temperatur des Dichtigkeitsmaximums erreicht haben, sinken sie nieder, andere Wassertheilchen treten an ihre Stelle, und so geht es fort, bis die ganze Wassermasse diese Temperatur hat. Wenn nun, sobald dies der Fall ist, die Kälte noch fortdauert, so wird die obere Wasserschicht durch ferneres Erkalten leichter; sie wird also fort und fort erkalten können, ohne niederzusinken; nun nimmt die Temperatur also mit der Tiefe zu bis zu 4,1°. Aus diesem Grunde findet auch die Eisbildung auf der Oberfläche Statt, die Dicke der Eisschicht kann nur sehr langsam zunehmen und nie eine bedeutende Stärke erlangen.

Diese Betrachtung zeigt uns auch, daß ruhige und sehr tiefe Gewässer nur dann zufrieren können, wenn eine strenge Kälte längere Zeit anhält, denn die ganze Wassermasse, welche während des Sommers über 4,1° erwärmt worden ist, muß nach und nach an die Oberfläche steigen, um da ihren Wärmeüberschuß abzugeben; und wenn die wärmere Wassermasse eine Tiefe von 500 bis 600 Fuß hat, so ist klar, daß unter sonst gleichen Umständen eine weit längere Zeit nöthig ist, damit alle wärmeren Wassertheilchen der Reihe nach auf die Oberfläche steigen, um da bis zu 4,1° zu erkalten, als wenn die Tiefe nur 20 bis 30 Fuß betrüge. An den Ufern und über Bänken von bedeutender Ausdehnung, überhaupt an allen Stellen von geringerer Tiefe kann sich deshalb auch schon eine Eisdecke bilden und eine bedeutende Dicke erlangen, während an den tieferen Stellen die Oberfläche des Wassers vom Eise frei bleibt.

Es ist nun die Frage, bis zu welcher Tiefe die Wärme des Sommers eindringen kann? Bis jetzt hat man darüber nur sehr unvollständige Angaben. Nehmen wir z. B. an, die Sommerwärme wäre nur bis zu einer Tiefe von 500 Fuß merklich, so müßte ein 10,000 Fuß tiefer See eben so leicht zufrieren wie ein anderer, welcher nur 500 Fuß tief ist, denn bei dem ersteren hat ja alles Wasser, welches mehr als 500 Fuß unter dem Spiegel sich befindet, das ganze Jahr hindurch die Temperatur des Dichtigkeitsmaximums; es kann also auf die Erscheinungen der oberen Wasserschichten in keiner Weise wirken.

Wenn vor dem Gefrieren einmal die ganze Wassermasse eines Sees die Temperatur von 4,1° haben muß, so muß dasselbe nach dem Aufthauen ebenfalls stattfinden, bevor die Temperatur der oberen Wasserschichten über die Temperatur des Dichtigkeitsmaximums steigen kann.

In den Flüssen ist natürlich wegen der beständigen Bewegung, welche die Wasserschichten verschiedener Temperatur fortwährend mischt, die Vertheilung der Wärme weniger regelmäßig als in den Landseen. Das Gefrieren beginnt in der Regel am Ufer, doch beobachtet man auch häufig, daß sich die Eisschollen mitten im Strome bilden und, anfangs ganz klein, bald eine bedeutende Größe erlangen. Eine sehr auffallende Erscheinung ist die Bildung von G r u n d e i s in den Flüssen; diese Eisbildung findet nicht auf der Oberfläche, sondern auf dem Boden Statt; wenn das am Boden gebildete Eis aufsteigt, so hebt es Steine und sonstige Gegenstände vom Boden mit in die Höhe; im Rhein wer-

den oft die Ankerketten der Schiffbrücken durch das Grundeis in die Höhe gebracht.

Die wahrscheinlichste Erklärung des Grundeises hat Arago gegeben; seine Ansicht ist die, daß das Wasser oft unter den Gefrierpunkt erkaltet, ohne fest zu werden, daß die so stark erkalteten Wassertheilchen sogleich gefrieren, wenn sie, durch die Strömung niedergezogen, mit den festen Körpern auf dem Boden in Berührung kommen.

218 **Temperatur der Meere.** Von tüchtigen Reisenden sind die Aequatorialmeere und die Polarmeere befahren worden; überall haben sie über die Temperatur und die damit zusammenhängenden Erscheinungen zahlreiche Reihen von Beobachtungen gemacht, welche für die Wissenschaft von höchstem Interesse sind.

Auf dem Meere, in großen Entfernungen von den Küsten, sind die täglichen Schwankungen der Lufttemperatur weit geringer als auf dem Lande. Auf dem Aequatorialmeere z. B. beträgt die Differenz des Maximums und des Minimums der Temperatur eines Tages höchstens 1 bis 2°, während sie auf dem Lande 5 bis 6° beträgt; in der gemäßigten Zone, zwischen dem 25. und 50. Breitengrade, ist dieser Unterschied nur 2 bis 3°, während er auf dem Lande sehr groß ist; in Paris beträgt er manchmal 12 bis 15°.

Das Minimum der Temperatur findet auch auf dem Meere kurz vor Sonnenaufgang Statt, die Zeit des Maximums soll aber nach einigen Beobachtern dem Mittage näher liegen als auf den Continenten.

Vergleicht man die Temperatur der Luft, welche auf den Meeren ruht, mit der der oberen Wasserschichten, so ergeben sich folgende Resultate.

In den Tropen ist in der heißesten Tageszeit die Luft wärmer als das Wasser; wenn man aber die Temperatur der Luft und des Wassers von 4 zu 4 Stunden bestimmt, wie es der Capitän Duperrey gethan hat, so ergiebt sich, daß im Durchschnitt die Temperatur der Luft niedriger ist als die des Wassers. Unter 1850 Beobachtungen, welche er gemacht hat, fand er 1371mal das Meer und nur 479mal die Luft wärmer.

In höheren Breiten, vom 25. bis zum 50. Grade, ist die Luft nur selten, in den Polargegenden fast nie wärmer als die Oberfläche des Meeres.

Gehen wir nun zur Betrachtung der Temperatur des Meeres in verschiedenen Tiefen über.

In den Tropen nimmt die Temperatur der Meere mit der Tiefe ab, in den Polarmeeren dagegen nimmt sie mit der Tiefe zu.

Während in der heißen Zone die Temperatur der Meeresoberfläche 27° ist, sinkt dort die Temperatur des Wassers in der Tiefe unter + 4°. Die Beobachtungen, welche am Bord der Venus unter den Befehlen von Du Petit-Thouars gemacht wurden, ergaben für die Temperatur der Tiefe in der heißen und gemäßigten Zone 3,2 bis 2,5°; unter 27° 47′ s. B. fand man z. B. im indischen Meere in einer Tiefe von 990 Faden die Temperatur 2,8°, während sie auf der Oberfläche 23,8° war; bei Penedo und S. Pedro, 4° 23′ n. B. und 28° 26′ westlich von Paris, an der Oberfläche 27°, in einer Tiefe

von 1130 Faden aber 3,2°; Kotzebue fand in einer Tiefe von 525 Faden unter einer Breite von 32° 11′ die Temperatur des Wassers 2,5°.

Humboldt hat gezeigt, daß die Erkaltung der Meeresoberfläche während der Nacht nicht die Veranlassung der geringen Temperatur der Meerestiefen in den Tropen seyn kann und daß sie nur die Folge eines Meeresstromes ist, welcher in der Tiefe die Gewässer der Pole dem Aequator zuführt; deshalb findet man auch in der Tiefe des mittelländischen Meeres, wo diese untere Meeresströmung nicht eindringen kann, keine so niedrigen Temperaturen.

Die Beobachtungen von Mulgrave, Scoresby, Roß und Parry geben das übereinstimmende Resultat, daß in den Polarmeeren die Temperatur in der Tiefe höher ist als an der Oberfläche; in einer Tiefe von 700 Faden steigt die Temperatur des Wassers auf 2 bis 3°, während sie an der Oberfläche nicht über 0° war. Beechey dagegen fand in der Behringsstraße in einer Tiefe von 20 Faden die Temperatur des Wassers — 1,4°, während sie an der Oberfläche + 6,3° betrug; Beechey fand im Allgemeinen die Temperatur der Tiefe niedriger als die der Oberfläche.

Diese Widersprüche lassen sich noch nicht erklären, überhaupt ist man bis jetzt noch nicht im Stande, die Gesetze des Gleichgewichts der Meeresschichten so zu entwickeln, wie es bei dem süßen Wasser der Fall ist, weil die Dichtigkeit des Meerwassers nicht allein von seiner Temperatur, sondern auch von seinem Salzgehalte abhängt.

Durch den Salzgehalt des Wassers wird sowohl sein Gefrierpunkt als auch die Temperatur seines Dichtigkeitsmaximums erniedrigt. Despretz fand für den Gefrierpunkt des Meerwassers (das Wasser, mit welchem er experimentirte, war von Freycinet in der Südsee geschöpft) — 2,55°, für die Temperatur des Dichtigkeitsmaximums aber — 3,67°; das Dichtigkeitsmaximum findet also bei einer Temperatur Statt, welche unter der des Gefrierpunktes liegt, es kann also nur beobachtet werden, wenn das Wasser bis unter den Gefrierpunkt erkaltet, ohne zu gefrieren. Despretz untersuchte den Gang der Ausdehnung des Meerwassers, indem er Thermometer damit construirte, und diese Versuchsmethode möchte wohl die einzige seyn, welche in diesem Falle ein zuverlässiges Resultat geben kann. Für die Physik der Meere kann jedoch dies Resultat keine Anwendung finden, indem wohl schwerlich eine bedeutende Wassermasse ihrer ganzen Ausdehnung nach unter den Gefrierpunkt erkaltet, ohne fest zu werden.

Beim Gefrieren des Meerwassers bildet sich reines Eis, während die Concentration des flüssigbleibenden Theiles zunimmt; die oberen Schichten nehmen also in den kalten Zonen aus zwei Gründen an Dichtigkeit zu, erstens wegen der Temperaturerniedrigung und zweitens wegen der bei der Eisbildung zunehmenden Concentration des Wassers. Da aber die dichter gewordenen Wassertheilchen niedersinken müssen, so bleibt es noch immer unerklärlich, wie in den Polarmeeren die Temperatur des Wassers in der Tiefe zunehmen kann.

Sollte vielleicht dieselbe Ursache, welche veranlaßt, daß die Temperatur der festen Erdrinde mit wachsender Tiefe immer mehr zunimmt, auch eine Erwärmung des Meeres von seinem Boden aus verlassen?

Wenn am Boden des Meeres eine solche Erwärmung stattfinden sollte, so könnte das erwärmte Wasser doch nicht bis zur Oberfläche des Meeres steigen, weil es, sich mit den an der Oberfläche erkalteten und niedersinkenden Wassertheilchen mischend, seine höhere Temperatur alsbald verliert.

Die Eisbildung in den Polarmeeren gehört zu den großartigsten Erscheinungen der Natur. Die Eismassen, denen man an den Küsten von Spitzbergen und Grönland begegnet, sind in der Regel 20 bis 25 Fuß dick; sie bilden ungeheure Ebenen, deren Gränzen man oft von den höchsten Masten der Schiffe nicht übersehen kann; es sind dies die sogenannten Eisfelder, deren Oberfläche manchmal 300 bis 400 Quadratmeilen beträgt. Die Oberfläche der Eisfelder ist oft vollkommen eben, oft aber auch uneben und schollig. Manchmal sieht man Erhebungen, gleichsam Säulen von einer Höhe von 20 bis 30 Fuß, welche einen sehr malerischen Anblick darbieten, indem sie bald die schönste bläulichgrüne Farbe zeigen, bald mit einer dicken Schneeschicht überdeckt sind.

Durch den Wellenschlag, vielleicht auch durch andere Ursachen, zerbersten diese Eisberge oft plötzlich und zertheilen sich in Stücke von 100 bis 200 Quadratmeter Oberfläche. Diese Stücke werden oft durch einen schnellen Meeresstrom fortgeführt, und wenn sie einem entgegengesetzten Meeresstrome begegnen, welcher die Stücke eines anderen Eisfeldes mit sich führt, so stoßen die Eismassen mit furchtbarem Krachen aneinander. Ein Schiff, welches das Unglück hat, zwischen solche Massen zu gerathen, kann der ungeheuren Kraft nicht widerstehen, es wird förmlich zerquetscht. Man hat viele traurige Beispiele, daß Schiffe auf diese Weise zu Grunde gingen.

Wenn die Eismassen zum Theil bei diesem schrecklichen Zusammentreffen zerbersten, wenn sie gleichsam zerbröckelt werden, so nehmen andere an Masse zu und werden noch furchtbarer. Eisstücke, welche durch die Wogen gehoben werden, fallen über die anderen Eisblöcke her, und so entstehen wahre Eisberge, welche oft 10 bis 15 Meter über den Wasserspiegel emporragen. Da die Dicke des über das Wasser hervorragenden Theils $^1/_4$ des untergetauchten beträgt, so sind solche Eisberge im Ganzen 55 bis 75 Meter hoch.

In der Baffinsbay findet man noch weit höhere Eisberge als in den grönländischen Meeren, sie ragen manchmal 30 bis 40 Meter über den Meeresspiegel hervor und haben also eine Totalhöhe von 150 bis 200 Metern. Man glaubt, daß sich diese Eisberge an den Küsten bilden, wo sie die Thäler versperren, welche in das Meer münden, und daß sie dann durch irgend eine Ursache losgerissen werden. In der That sieht man dort an den Küsten solche in einzelne Zacken zerrissenen Eisberge von herrlicher bläulicher Farbe und wunderbarer Höhe. Im Sommer, wenn das Eis durch die Wirkung der Sonnenstrahlen geschmolzen wird, strömt das Wasser von dem Kamme dieser Gebirge in ungeheuren Wasserfällen in das Meer herab. Es ist dies ein majestätisches Schauspiel, welches die Schiffer jedoch nur aus der Ferne betrachten; denn die gigantischen, hoch in die Lüfte ragenden Eiszacken und Bogen bersten plötzlich unter ungeheurem Krachen und stürzen in das Meer herab.

Abnahme der Temperatur in den höheren Luftregionen. Die Er- 220
wärmung der Luft hat zwei Ursachen; zunächst absorbirt sie einen Theil der von der Sonne kommenden Wärmestrahlen; weil aber die Luft die Wärmestrahlen ungleich weniger absorbirt als die Erdoberfläche, so ist auch die Erwärmung der Luft durch die Absorption der Wärmestrahlen ungleich geringer als die Erwärmung des Bodens; den bedeutendsten Antheil ihrer Wärme erhält die Atmosphäre von unten her.

Wäre die Luft keine elastische Flüssigkeit, bliebe die Dichtigkeit der Atmosphäre für alle Höhen dieselbe, so würden die am Boden erwärmten Luftschichten bis an die Gränze der Atmosphäre steigen, die obersten Schichten des Luftmeers, welches unsere Erde einhüllt, würden auch die wärmsten seyn. Weil sich aber die warmen Luftschichten bei ihrem Aufsteigen ausdehnen, so wird bei dieser Ausdehnung Wärme gebunden, ihre Temperatur muß sinken, und so kommt es, daß die höheren Luftschichten kälter sind als die tieferen.

Daß eine solche Abnahme der Temperatur in den höheren Luftregionen wirklich stattfindet, davon überzeugt man sich, wenn man zu diesen höheren Regionen aufsteigt, mag man sich nun in einem Luftballon erheben oder die Gipfel hoher Berge besteigen.

Gay-Lussac fand bei seiner Luftfahrt im Durchschnitt eine Temperaturabnahme von 1° für eine Erhebung von 174 Toisen.

Auf hohen Bergen zeigt schon die Veränderung der Vegetation die Abnahme der Temperatur an: je höher man steigt, desto mehr nimmt die Vegetation den Charakter kälterer Himmelsstriche an; am auffallendsten zeigt sich dieser Wechsel in den Tropen; besonders großartig erscheint er aber an den ungeheuren Gebirgen Südamerikas, wo man in einem Tage aus den Wäldern von Palmen und Bananen bis zu den Gränzen des ewigen Schnees aufsteigen kann.

Wie in der Andeskette und den mexicanischen Gebirgen die Temperatur mit der Höhe über der Meeresfläche abnimmt, übersieht man aus folgender von Humboldt gegebenen Tabelle.

Höhe über der Meeresfläche. Toisen.	Mittlere Temperatur.	
	Cordilleras de los Andes.	Mexicanische Gebirge.
0	27,5°	26,0
500	21,8	19,8
1000	18,0	18,0
1500	14,3	14,0
2000	7,0	7,5
2500	1,5	1,0

Da sich in der heißen Zone die Temperatur der Luft im Laufe eines Jahres nur wenig ändert, so kann man sich von der Temperatur in verschiedenen Höhen der Andeskette die beste Vorstellung machen, wenn man sie mit der mittleren Temperatur gewisser Monate in höheren Breiten vergleicht. So findet man in den Ebenen des Orinoco täglich eine Temperatur, welche noch um 4° höher ist als die mittlere Temperatur des Monats August in Palermo; zu Poparan, 911 Toisen über dem Meere, findet man die Temperatur der drei Sommermonate in Marseille; zu Quito die Temperatur der letzten Hälfte des Mai, in den Paramos (1800 T.) die Temperatur der ersten Hälfte des Aprils in Paris.

Untersuchen wir nun, nach welchem Gesetze die Temperatur abnimmt, so sehen wir bald, daß diese Abnahme durchaus nicht gleichförmig, d. h. nicht der Erhebung proportional ist. Erhebt man sich in den Cordilleras de los Andes vom Spiegel des Meeres um 500 Toisen, so sinkt die mittlere Temperatur um 5,7°; bei fernerem Steigen ist die Temperaturabnahme weniger rasch, denn wenn man um 1000 Toisen weiter, nämlich von 500 bis 1500 T. steigt, so sinkt die mittlere Temperatur nur um 7,5°, dann aber nimmt die Temperaturabnahme wieder rasch zu, indem sie schon für die nächsten 500 Toisen, von 1500 bis 2000, fast eben so viel, nämlich 7,3°, beträgt.

Das Gesetz der Temperaturabnahme, welches namentlich von der Configuration der Gebirgszüge abhängt, ist nicht für alle Gegenden dasselbe; so ist es z. B. schon für die mexicanischen Gebirge ein anderes.

Beim Aufsteigen in einem Luftballon muß man nothwendiger Weise ein ganz anderes Gesetz der Temperaturabnahme beobachten als auf hohen Bergen, weil die Gebirge, indem sie sich unter dem Einflusse der Sonnenstrahlen erwärmen und des Nachts die Wärme ausstrahlen, nothwendig auf die Temperatur der Luftschichten einwirken müssen, in welche sie hineinragen. Dieser Einfluß wird um so mächtiger seyn, je bedeutender die Masse der Gebirge ist. Ein isolirter hoch in die Luft hineinragender Bergkegel

oder ein Bergkamm wird die höheren Regionen der Atmosphäre nicht merklich erwärmen können, weil die Winde in jedem Augenblicke nur kalte Luftmassen an ihm vorbeiführen; eine Hochebene von bedeutendem Umfange aber, welche sich unter dem Einflusse der Sonnenstrahlen bedeutend erwärmen kann, indem sie von einer weniger dichten und weniger hohen Luftschicht bedeckt ist als die tieferen Gegenden, weil also die Sonnenstrahlen, welche eine Hochebene treffen, durch Absorption in der Luft weniger Wärme verloren haben als die, welche zur Tiefe gelangen, kann allerdings einen merklichen Einfluß auf die Erwärmung der höheren Luftregionen ausüben, welche über ihr schweben und welche eben wegen der größeren Ausdehnung des Plateaus längere Zeit mit dem erwärmten Boden in Berührung bleiben.

Unter sonst gleichen Umständen muß es demnach auf Hochebenen wärmer seyn als auf isolirten Berggipfeln von gleicher Höhe. In den mexicanischen Gebirgen zwischen dem 18. und 19. Grade nördlicher Breite hört schon in einer Höhe von 4200 Metern alle phanerogamische Vegetation auf, die Schneegränze findet sich in einer Höhe von 4500 Metern, während bei gleicher südlicher Breite in Peru in größerer Höhe eine zahlreiche ackerbauende Bevölkerung wohnt; Potosi liegt 4166 Meter über dem Meeresspiegel, die Schneegränze liegt hier in einer Höhe von 5646 Metern. Dies erklärt sich nur durch die bedeutende Ausdehnung und Höhe der Hochebenen Perus. Das Plateau, in dessen Mitte der Titicaca-See liegt, erhebt sich zwischen zwei Gebirgsketten bis zu einer Höhe von mehr als 3800 Metern; bei einer Breite von 60 geographischen Meilen erstreckt es sich vom 16. bis zum 20. Grade südlicher Breite, so daß es eine Oberfläche von 3600 Quadratmeilen hat. Die Plateaus der Andes in der Nähe des Aequators haben höchstens eine Oberfläche von 10 Quadratmeilen, und die Höhe der mexicanischen Hochebene beträgt nur 2000 bis 2500 Meter.

Ein anderes Beispiel bietet die Hochebene von Tibet und der chinesischen Tartarei. In einer Höhe von 3663 Metern wird hier in einer Breite von 32° noch Weizen mit Erfolg gebaut, die Cultur der Gerste steigt noch weit höher hinauf, während auf dem südlichen Abhange des Himalaya, in den Thälern des Ganges schon in einer Höhe von 2970 Metern alle Cultur aufhört; ja selbst unter dem Aequator auf den Plateaus von Quito und Caxamarca ist die Gränze der Cultur des Weizens 760 Meter tiefer als in den Hochebenen von Tibet.

Der Einfluß der Hochebenen auf die Temperatur der oberen Luftregionen ist in ihrer Mitte am bedeutendsten. Zu Santa Fe de Bogota, in der Mitte eines Plateaus, ist die mittlere Jahrestemperatur 14,5°, während sie in gleicher Höhe zu Facatativa am Rande des Plateaus nur 13,1° ist.

Während sich die Hochebenen unter der Einwirkung der Sonnenstrahlen stark erwärmen, ist natürlich auch aus demselben Grunde der Wärmeverlust, den sie durch die nächtliche Strahlung erleiden, viel bedeutender als in der Tiefe. Auf der Hochebene von Caxamarca in Peru, wo in einer Höhe von 1660 Metern die mittlere Temperatur 16° ist, erfriert doch der Weizen häufig des

Nachts. Humboldt sah hier bei Tage im Schatten das Thermometer auf 25° steigen, während es vor Sonnenaufgang nur 8° gezeigt hatte.

Auf den Hochebenen sind also die täglichen Schwankungen der Temperatur, und, wenn sie weiter vom Aequator entfernt liegen, auch die jährlichen, viel größer als unter sonst gleichen Umständen in der Tiefe; so hat z. B. die Hochebene von Tibet sehr heiße Sommer, obgleich die mittlere Jahrestemperatur ziemlich niedrig ist (die mittlere Temperatur des Monats October fand Turner 5,7°, und dies ist so ziemlich genau auch die mittlere Jahrestemperatur), weil dagegen der Winter um so kälter ist. Auf der Nordseite des Himalaya liegen die Culturgränzen und die Schneegränze nicht etwa deshalb höher als auf dem südlichen Abhange, weil die mittlere Jahreswärme höher, sondern weil bei der ungleichmäßigeren Wärmevertheilung der Sommer auf der nördlichen Abdachung heißer ist.

Während auf Hochebenen die periodischen Temperaturschwankungen größer sind als in der Tiefe, sind sie für isolirte Gebirge umgekehrt in der Höhe geringer, weil die isolirten Berge auf die Temperatur der höheren Luftregionen nur einen unbedeutenden Einfluß ausüben und weil die periodischen Temperaturveränderungen des Bodens in der Ebene, welche sich zunächst den unteren Luftschichten mittheilen, in der Höhe weniger merklich sind. So ist z. B. nach Humboldt's Angaben die Differenz zwischen dem täglichen Maximum und Minimum zu Cumana (10 Meter über dem Meeresspiegel) 11,5°, zu Quito aber 16°. Kämtz fand dagegen als Mittel aus einer Beobachtungsreihe von mehreren Wochen die Differenz des täglichen Maximums und Minimums auf dem Faulhorn gleich 3,8°, während in Zürich gleichzeitig diese Differenz 9,5° war. Auf dem Gipfel des Faulhorns sind also die täglichen Schwankungen geringer, auf dem Plateau von Quito aber größer als in der Tiefe.

Da der tägliche Gang der Wärme auf den Höhen ein anderer ist als in der Tiefe, so ist auch die Differenz der gleichzeitigen Temperaturen an der höheren und an der tieferen Station nicht zu allen Stunden dieselbe.

Auch der jährliche Gang der Wärme ist in der Höhe ein anderer, folglich wird auch der Unterschied der mittleren Temperaturen zweier ungleich hohen Stationen in verschiedenen Monaten nicht derselbe seyn. Aus einer 20jährigen Reihe von Beobachtungen, die gleichzeitig auf dem St. Bernhard und in Genf angestellt wurden, ergaben sich für die Temperaturdifferenz der beiden Orte in den verschiedenen Monaten folgende Werthe:

Monate.	Temperaturdifferenz.	Höhe, um welche man sich erheben muß, damit die Temperatur um 1° R. sinkt.
Januar	6,64° R.	970 Par. F.
Februar	7,74	832
März	8,80	731
April	9,52	676
Mai	9,30	692
Juni	9,46	680
Juli	9,55	674
August	9,67	702
September . . .	8,74	736
October	8,32	773
November . . .	7,53	855
December . . .	7,68	837
Mittel	8,54	753

Wenn die Temperaturabnahme gleichförmig wäre, so würde man leicht die Höhe finden, um welche man sich erheben muß, damit die Temperatur um 1° sinkt, indem man mit der Temperaturdifferenz der beiden Stationen in den Höhenunterschied derselben dividirt; für unser Beispiel beträgt diese Höhendifferenz 6435 Par. Fuß; da aber die Temperaturdifferenz beider Orte im Durchschnitt 8,54° R. ist, so ergiebt sich als Mittel für die Höhe, um welche man in den Alpen steigen muß, damit die Temperatur um 1° sinkt, $\frac{6435}{8,54} = 743'$ $= 125$ Toisen oder 100 Toisen für 1° C. Auf ähnliche Weise sind alle Zahlen der letzten Columne der obigen Tabelle berechnet.

Während die Vergleichung der Temperaturen von Genf und St. Bernhard im Durchschnitt eine Erhebung von 100 Toisen oder 195 Metern für eine Temperaturerniedrigung von 1° C. geben, erhält man aus der Vergleichung der Temperatur anderer Orte, die in verschiedener Höhe in den Alpen oder in der Nähe derselben liegen, im Durchschnitt eine Erhebung von 173 Metern für eine Temperaturerniedrigung von 1° C. Diese Differenz rührt wahrscheinlich daher, daß die Temperatur am Hospiz auf dem St. Bernhard durch den Einfluß der Südwinde, dem es besonders ausgesetzt ist, etwas erhöht wird.

Da Humboldt für die südamerikanischen Gebirge unter dem Aequator eine Temperaturabnahme von 26° C. für eine Erhebung von 2500 Toisen fand, so ergiebt sich dort im Durchschnitt eine Erhebung von 96 Toisen oder 187 Metern

für eine Temperaturabnahme von 1° C., auf den Plateaus aber eine Erhebung von 243 Metern für 1°.

Kennt man für eine Gegend die Höhendifferenz, welche einer Temperaturerniedrigung von 1° entspricht, so kann man aus der mittleren Temperatur eines höher gelegenen Ortes annähernd genau die mittlere Temperatur berechnen, welche sich unter sonst gleichen Umständen im Niveau des Meeres finden würde; dividirt man nämlich mit dem Höhenunterschiede, welcher einer Temperaturdifferenz von 1° entspricht, in die Höhe des Beobachtungsortes, so findet man, um wie viel Grade die mittlere Temperatur im Niveau des Meeres höher seyn würde. Wir haben eben gesehen, daß in den Alpen durchschnittlich 100 Toisen einer Temperaturdifferenz von 1° C. entsprechen; nun aber ist das Hospiz auf dem St. Bernhard 1280 Toisen über dem Meeresspiegel, seine mittlere Temperatur ist auf $\frac{1280}{100} = 12{,}8^0$ niedriger als am Meeresspiegel; da aber die mittlere Temperatur auf dem St. Bernhard — 1° ist, so ergiebt sich für die mittlere Temperatur im Niveau des Meeres 11,8°.

Genf liegt 203 Toisen über dem Meeresspiegel, seine mittlere Temperatur 9,7° ist demnach $\frac{203}{100} = 2{,}03^0$ niedriger als sie seyn würde, wenn Genf im Niveau des Meeres läge; seine Temperatur würde also für diesen Fall $9{,}7 + 2{,}03 = 11{,}73^0$ betragen.

Die mittlere Temperatur der südöstlichen Schweiz, auf den Meeresspiegel **reducirt**, wäre demnach 11,7 bis 11,8° C.

Die Isothermen auf der Karte Seite 629, sowie die Isotheren und Isochimenen auf der Karte Seite 633 sind so gezogen, wie diese Linien laufen würden, wenn alle Orte in der Höhe des Meeresspiegels lägen; die Temperatur der verschiedenen Orte ist also auf das Niveau des Meeres reducirt.

Die Gränze des ewigen Schnees liegt natürlich um so höher, je mehr man sich der heißen Zone nähert. Die Höhe der Schneegränze in verschiedenen Gegenden der Erde ist in folgender Tabelle zusammengestellt.

Gebirge.	Breite.	Untere Gränze des ewigen Schnees.	Mittlere Temperatur im Niveau des Meeres in gleicher Breite	
			des ganzen Jahres.	des Sommers.
Norwegen, Küste	71¼° N.	720m	0,2°	6,4°
Norwegen, im Inneren . . .	70–70¼°	1072	– 3,0	11,2
Island	65°	936	4,5	12,0
Norwegen, im Inneren . . .	60–62°	1560	4,2	16,3
Aldankette (Sibirien)	60° 55′	1364	. . .	. . .
Nördl. Ural	59° 40′	1460	1,2	16,7
Kamtschatka	56° 40′	1600	2,0	12,6
Altai	49¼–51°	2144	7,3	16,8
Alpen	45¾–46°	2708	11,2	18,4
Kaukasus (Elborus)	43° 21′	3372	13,8	21,6
Pyrenäen	42½–43°	2728	15,7	24°,0
Aetna	37½°	2905	18,8	25,1
Nördl. Abhang des Himalaya .	30¼–31°	5067	. . .	. . .
Südl. Abhang des Himalaya .	. . .	3956	20,2	25,7
Mexico	19–19¼°	4500	25	27,8
Abyssinien	13° 10′	4287	. . .	. . .
Sierra Nevada de Merida . .	8° 5′	4550	27,2	28,3
Vulcan von Tolima	4° 46′	4670	. . .	. . .
Quito	0° 0′	4824	27,7	28,6
Oestliche Cordilleras von Chili	14½–18° S.	4853	. . .	. . .
Westliche Cordilleras von Chili		5646		
Chili, Andes der Küste . . .	41–44°	1832	. . .	. . .
Magellansstraße	53–54°	1130	5,4	10

Man glaubte sonst, daß sich die Gränze des ewigen Schnees stets in solchen Regionen finden müßte, wo die mittlere Jahrestemperatur 0° ist. Wenn dies so wäre, so müßten alle Länder, deren mittlere Jahrestemperatur unter Null ist, beständig mit Schnee bedeckt seyn, während wir doch z. B. wissen, daß selbst zu Jakuzk, bei einer mittleren Jahrestemperatur von — 9,7°, noch Cerealien gebaut werden.

Die Gränze, bis zu welcher selbst im Sommer der Schnee nicht wegschmilzt, kann also nicht ohne Weiteres aus der mittleren Jahrestemperatur eines Ortes abgeleitet werden, sie hängt nicht sowohl von der mittleren Jahreswärme, son-

dern vielmehr von der Vertheilung der Wärme auf die verschiedenen Jahreszeiten ab.

In Jakuzk ist die mittlere Temperatur des heißesten Monats 20,3°. Bei einer solchen Wärme muß der Schnee wegschmelzen, der Winter mag noch so kalt gewesen seyn. Wenn zu Jakuzk bei unveränderter mittlerer Jahrestemperatur von — 9,7° die Wärme so vertheilt wäre, daß sie nur zwischen 0° und — 20° schwankte, so würde der Schnee ewig liegen bleiben.

Die mittlere Temperatur der Schneegränze kann also an Orten, welche ein sehr excessives Klima haben, sehr niedrig seyn; in solchen Gegenden aber, für welche die Differenz zwischen der Sommer- und Wintertemperatur geringer ist, wird die mittlere Jahrestemperatur der Luftwärme an der Gränze des ewigen Schnees höher seyn. Da nun zwischen den Wendekreisen die Schwankungen der Temperatur weit geringer sind als in den gemäßigten Zonen und in den Polargegenden, so wird auch die mittlere Jahrestemperatur der Luft an der Schneegränze in den Tropen weit höher seyn als in höheren Breiten.

Denken wir uns einen Ort, an welchem die Temperatur der Luft das ganze Jahr hindurch 0° betrüge, so könnte der Schnee, welcher hier fällt, unmöglich wegschmelzen, und man sieht leicht ein, daß, wenn die Temperatur eines Ortes um nur sehr wenige Grade schwankt, die mittlere Temperatur über 0° seyn muß, damit der gefallene Schnee vollkommen wegschmelzen kann, wenn man bedenkt, wie viel Wärme beim Schmelzen des Schnees gebunden wird. Es ist daher leicht zu begreifen, daß in den Tropen die mittlere Lufttemperatur an der Schneegränze über Null ist.

In den Tropen ist die mittlere Lufttemperatur der Schneegränze + 1,5°, während sie in Norwegen vom 60. bis 70. Breitengrade — 6° ist; in Sibirien ist sie natürlich noch niedriger.

Da die Schneegränze vorzugsweise von der Temperatur des heißesten Monats abhängt, so muß die Höhe der Schneegränze in verschiedenen Gegenden, für welche die mittlere Jahreswärme in der Ebene gleich ist, verschieden seyn, wenn die Vertheilung der Wärme an beiden Orten ungleich ist, wenn die eine Gegend ein Küstenklima, die andere aber ein Continentalklima hat. Bei gleicher mittlerer Jahreswärme in der Ebene liegt die Schneegränze für ein Küstenklima tiefer als für ein Continentalklima.

So hat z. B. Island und das Innere von Norwegen vom 60. bis 62. Grade fast ganz gleiche mittlere Jahreswärme, in Island ist aber die Sommerwärme geringer, und deshalb liegt auch die Schneegränze bedeutend (630m) tiefer.

Je mehr Schnee im Winter fällt, desto heißer muß es im Sommer werden, wenn er ganz wegschmelzen soll; da nun an den Küsten mehr Schnee fällt als im Inneren der großen Continente, wo die Luft weit trockener ist, so ist darin ein neuer Grund zu suchen, warum an den Küsten die Schneegränze verhältnißmäßig tiefer liegt als im Inneren des Landes.

Die Pyrenäen und der Kaukasus liegen ungefähr in gleicher Breite; die mittlere Jahrestemperatur sowohl als auch die mittlere Sommenwärme ist am

Fuße der Pyrenäen höher als am Fuße des Kaukasus, und doch ist die Schneegränze am Kaukasus um 650 Meter höher als in den Pyrenäen, weil dort weit weniger Schnee fällt als hier.

Sehr auffallend erscheint es auch, daß die Schneegränze auf der nördlichen Abdachung des Himalaya um mehr als 1100 Meter höher liegt als am südlichen Abhange; es wird dies aber begreiflich, wenn man bedenkt, daß gerade die über dem indischen Ocean mit Feuchtigkeit gesättigte Luft, an den südlichen Abhang des riesenhaften Gebirges anschlagend, dort ungeheure Massen von Regen in den niederen und von Schnee in den höheren Regionen absetzt, während aus der trocknen Luft auf der nördlichen Abdachung ungleich weniger Schnee herabfällt; außerdem aber schließt sich an die nördliche Abdachung die bedeutende Hochebene von Tibet an, während sich das Gebirge auf der Südseite rasch bis zum Spiegel des Meeres herabsenkt.

Das Tafelland von Tibet besteht eigentlich aus mehreren durch Gebirgsketten getrennten Hochebenen von außerordentlicher Trockenheit, auf welchen die Temperaturschwankungen außerordentlich groß sind; da die so felsigen und sandigen Hochebenen sich im Sommer durch die Absorption der Sonnenstrahlen bedeutend erwärmen, tragen sie viel zur Erhöhung der Schneegränze bei.

Ein ähnlicher Unterschied zeigt sich zwischen den östlichen und westlichen Cordilleras von Chili. Nach den Messungen von Pentland ist die Schneegränze vom 14. bis zum 18. Breitengrade noch bedeutend höher als unter dem Aequator selbst, was offenbar nur von dem Einflusse der Hochebenen herrühren kann.

Die Gränze des Schnees steigt und sinkt mit den verschiedenen Jahreszeiten; diese Schwankung ist in der heißen Zone Amerikas sehr unbedeutend, sie beträgt, nach Humboldt, nur 80 bis 110 Meter; man darf jedoch die Gränze des Schnees nicht mit den Gränzen verwechseln, bis zu welchen noch von Zeit zu Zeit Schnee fällt und auch einige Zeit liegen bleibt. In den mexicanischen Gebirgen liegen die Gränzen, zwischen welchen die Schneegränze auf- und niedersteigt, schon bedeutend weiter, nämlich um 623 Meter, auseinander; dieser Unterschied ist leicht zu begreifen, wenn man bedenkt, daß die mittlere Temperatur der drei wärmsten Monate in Mexico um 6°, in Quito aber nur 1° bis 2° mehr beträgt als die mittlere Temperatur der drei kältesten Monate.

Eine ganz eigenthümliche, den ewigen Schnee hoher Gebirge häufig begleitende Erscheinung sind die Gletscher. Möge es erlaubt seyn, die treffliche Beschreibung der Alpengletscher hier wörtlich anzuführen, welche Kämtz in seinen »Vorlesungen über Meteorologie« gegeben hat.

»Betrachtet man ein größeres Gebirge, z. B. die Alpen, im Sommer von einem entfernten Standpunkte (Rigi oder Weißenstein bei Solothurn), so unterscheidet man deutlich in der Tiefe die Region der Cultur, darüber den Waldgürtel, späterhin die ausgedehnten Weiden und über diesen die Region des Schnees. Die untere Gränze desselben erscheint ziemlich scharf als horizontale Linie, nur an einzelnen Stellen ziehen sich von ihr unregelmäßige weiße Strei-

fen bis zu bedeutender Tiefe herab; diese Streifen, welche deutlich in den Thälern liegen, sind die **Gletscher**.

»Wenn man den Gletscher näher betrachtet, so findet man, daß er ganz aus Eis, keineswegs aber aus Schnee besteht, und daß diese Masse oft rings von Getreidefeldern umgeben ist. Dieses Eis bildet aber nicht die zusammenhängenden durchsichtigen Massen, wie es uns das auf den Flüssen gebildete Eis zeigt, vielmehr läßt es sich mit der größten Leichtigkeit in Körner zerschlagen, welche einzeln in hohem Grade durchsichtig, aber von einander durch Zwischenräume getrennt sind. Dadurch, daß die ganze Eismasse nur aus solchen Körnern besteht, wird es uns möglich, mit Leichtigkeit auf den Gletschern zu gehen. In der Tiefe haben diese Körner etwa die Größe einer Wallnuß; so wie wir jedoch höher steigen, werden sie kleiner, bis sie in der Höhe von 8000 Fuß etwa die Größe von Erbsen haben. Die Oberfläche des Gletschers bildet hier nicht mehr die compacte Masse; bei schönem Sonnenschein sinkt man in sie wie in lockeren Sand ein; diese lockere Masse hat den Namen **Firn**, sie wird immer kleiner, und in den höchsten Regionen geht sie allmälig in Schnee über; selbst wenn die Oberfläche mit Firn bedeckt ist, treffen wir in der Tiefe einiger Zolle eigentlichen Schnee.

»Diese Firnmasse ist aus dem Schnee entstanden, und ich hatte im Jahre 1833 Gelegenheit, die Bildung derselben sehr deutlich zu verfolgen. Im August und noch mehr im September fielen auf dem Faulhorn ungeheure Schneemassen, an manchen Stellen lag er neben dem Wirthshause mehr als 6 Fuß hoch. Der Schnee selbst bestand entweder aus regelmäßigen Krystallen oder Spießen, welche scheinbar von dem Mittelpunkte einer Kugel nach allen Seiten ausliefen. Es folgte nun eine Zeit schönes heiteres Wetter; obgleich das Thermometer sich selbst bei Tage in Schatten wenig vom Gefrierpunkte entfernte, wirkte doch die Sonne mit ungeheurer Mächtigkeit auf den Schnee, dieser war am ersten Tage etwa bis zur Tiefe eines Zolls mit Wasser durchdrungen. Am folgenden Morgen hatte sich eine unregelmäßige glänzende Eisrinde gebildet, die sich jedoch mit Leichtigkeit eindrücken ließ. Kaum aber hatte die Sonne einige Zeit darauf gewirkt, so war der Zusammenhang der Theile verschwunden, und bis zur Dicke einiger Linien lagen auf der Oberfläche des eigentlichen Schnees durchsichtige Eiskügelchen von der Größe der Hirsenkörner. Mehrere Tage wiederholte sich der Vorgang, aber dann war am Morgen die Eisrinde so fest, daß ich darauf stehen konnte; die Firnkörner lagen mehrere Zoll hoch über dem Schnee, dabei hatten sie an der Oberfläche die Größe kleiner Erbsen erlangt und wurden nach unten kleiner. Leider konnte ich den Vorgang nicht bis zu größerer Tiefe verfolgen, da neue Schneemassen die früheren bedeckten und nur eine Wiederholung des eben beschriebenen Processes zeigten.

» — — — Man denke sich in den Alpen zwei Berge von mehr als 8000 Fuß Höhe, zwischen denen ein Thal mit Schnelligkeit in die Tiefe stürzt. Die bedeutenden Schneemassen des Winters werden theils durch Wind, theils durch Lawinen in das Thal gestürzt; erst spät im Frühling wird die Wärme in der Höhe so bedeutend, daß die Sonne auf den Schnee einzu-

wirken vermag. Das durch Schmelzen gebildete Wasser dringt mit Schnelligkeit in die Zwischenräume zwischen den einzelnen Krystallen und füllt diese abwechselnd mit kleinen Luftblasen ganz aus. Wenn es in der folgenden Nacht friert, eine Erscheinung, die sich in diesen Regionen den ganzen Sommer hindurch oft wiederholt, dann verbindet sich das Wasser mit den Schneeflocken, mit denen es in Berührung steht, letztere selbst werden in Körner von durchsichtigem Eise verwandelt, die vorhandenen Luftblasen sind die Ursache, daß die ganze Oberfläche sich nicht in eine compacte Masse verwandelt. Wiederholt sich am folgenden Tage die Einwirkung der Sonne, so wird die Rinde bald aufgelockert, es werden einige Körner geschmolzen, aber vorzugsweise die kleineren, welche sich in Wasser verwandeln, und dieses verbindet sich in der folgenden Nacht mit den noch übrig gebliebenen und vergrößert die Dimensionen derselben. War die im Winter angehäufte Schneemasse bedeutend und der nun folgende Sommer vielleicht nicht sehr warm, so wird sie nicht immer ganz geschmolzen, sondern nur in eine Firnmasse verwandelt, deren Größe durch den Schnee des nächsten Winters bedeutend vergrößert wird. Wiederholt sich der Vorgang mehrere Jahre, so entsteht ein neuer Gletscher, wie man dieses in den Alpen öfter beobachtet hat. Dabei nehmen nach und nach die Dimensionen der Eiskörner zu, und wenn auch noch immer die einzelnen derselben durch Luftbläschen getrennt bleiben, so greifen die unregelmäßigen Erhöhungen einiger so in die Vertiefungen zwischen anderen, daß das Ganze eine compacte Masse bildet. Doch bleibt dieser Körper nicht auf der Stelle, auf welcher er in dem engen Thale entstand. Stand er zuerst mit den Wänden desselben in Berührung, so wird der an den letzteren liegende Schnee bald weggeschmolzen, das von den Höhen herabkommende Wasser tritt stellenweise unter die Schnee- und Eismasse und zerstört hier und da die Basis derselben theils durch eigentliches Schmelzen, theils durch mechanisches Fortreißen. Das Ganze berührt nicht mehr allenthalben den Boden, Canäle von unregelmäßiger Gestalt sind mit Wasser gefüllt, welches bald frei abfließt, bald durch losgerissene Eismassen sich selbst den Ausgang versperrt und nun einen Druck nach oben ausübt. Auch die obere Schneemasse sucht auf der häufig sehr geneigten Basis sich nach unten zu bewegen; so wird das auf einzelnen Füßen stehende Eis vielfach gedrängt, es entstehen Risse und Spalten, welche sich von oben nach unten erstrecken und in welche sich das Wasser stürzt, welches durch Einwirkung der Sonne auf der Oberfläche gebildet wird. Geschieht dieses erst, so wird die Basis noch mehr angegriffen, besonders scheint dieses dann der Fall zu seyn, wenn mehrere kalte Nächte folgen, wo das Wasser stellenweise gefriert, bei seiner Verwandlung in Eis sich ausdehnt und dadurch die schmalen Spalten wie ein eingetriebener Keil erweitert, während die zuerst genannten Ursachen besonders bei anhaltend warmem Wetter thätig sind. So arbeitet also Alles dahin, die Gletschermasse nach unten zu bewegen; zuerst wird sie in eine Menge einzelner Blöcke von größeren oder geringeren Dimensionen zerrissen, wobei sich ein donnerähnliches Getöse hören läßt, und diese Blöcke werden dann mit Leichtigkeit langsam fortgeschoben. Daher finden wir denn in den steilen Thälern diese ewigen Eismassen, während die begränzenden Berg-

wände mit kräftigen Wäldern und dem üppigsten Grün überzogen sind. Begreiflich aber wird es, daß diese Gletscher sich in ähnlich gebildeten Thälern desto mehr in die Tiefe erstrecken müssen, je höher die umliegenden Berge sich in die Region der Wolken erheben; hier sind die Schneemassen, welche durch Winde und Lawinen in die Tiefe geführt werden, größer, hier ist ferner der Druck des Schnees, sowie die Masse des unter dem Schnee wegfließenden Wassers bedeutender, die große Eismasse erfordert also längere Zeit zum gänzlichen Wegschmelzen, und so kann sie nach tiefer und wärmer liegenden Regionen kommen, ehe sie ganz verschwindet. Da das Eis am unteren Ende der Gletscher eine große Reihe von Jahren hindurch die Wärme des Sommers, sowie die Kälte des Winters empfunden hat, so ist durch die häufige Wiederholung des partiellen Thauens und Gefrierens das Volumen der Krystalle so groß geworden, wie wir es unten beobachten.

»Da die Gletscher dem Gesagten zufolge nur locale Phänomene sind, da die Erfahrung ferner zeigt, daß ihr unterstes Ende im Allgemeinen desto tiefer liegt, je höher die umgebenden Berge sind, so müssen wir sie bei der Bestimmung der Schneelinie ganz übersehen. Nur da, wo der Schnee auf kleinen Bergebenen und wenig geneigten Flächen noch am Ende des Sommers anfängt liegen zu bleiben, darf sie aufgesucht werden. — — —«

Wir haben bisher nur die Temperaturverhältnisse auf hohen Gebirgen selbst, aber nicht den Einfluß betrachtet, den diese Gebirge auf die benachbarten Ebenen ausüben. Dieser Einfluß ist aber unter Umständen sehr bedeutend; einen erwärmenden Einfluß üben sie durch die Reflexion der Wärmestrahlen an den Bergabhängen und durch den Schutz aus, den sie oft gegen die herrschenden Winde gewähren; dagegen wirkt die Nähe hoher Gebirge abkühlend auf die Ebenen, indem sie das Niedersenken kalter Luftströmungen häufig verursachen und begünstigen. Dieser erkaltende Einfluß ist besonders merklich, wenn die Berghöhen mit Schnee bedeckt sind.

221 **Absorption der Wärmestrahlen durch die Atmosphäre.** Wenn man mit Hülfe einer Sammellinse Zunder durch Concentration der Sonnenstrahlen anzünden will, so wird man einen großen Unterschied finden, je nachdem man den Versuch Mittags anstellt, wo die Sonne hoch am Himmel steht, oder des Abends, wenn sie ihrem Untergange nahe ist; während sich der Schwamm des Mittags leicht entzündet, geschieht dieses am Abend entweder nur sehr schwierig oder gar nicht; die Intensität der von der Sonne zu uns kommenden Wärmestrahlen ist also in diesen beiden Fällen ebenso ungleich wie die Intensität der Lichtstrahlen; Abends können wir die rothgelbe Scheibe der untergehenden Sonne wohl ansehen, Mittags aber wird das Auge durch den Glanz der Sonnenstrahlen geblendet.

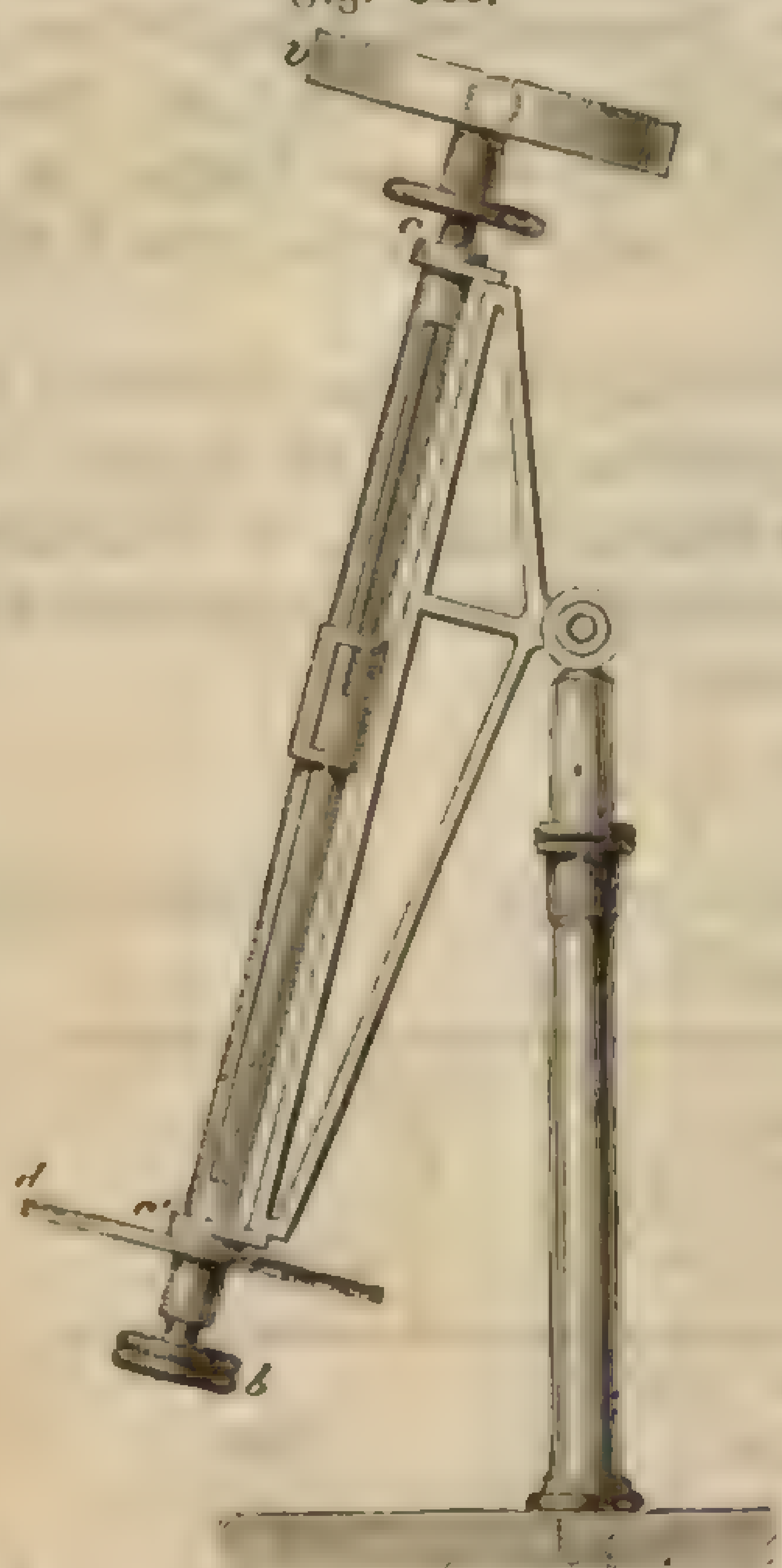
Dieser Unterschied in der Intensität der Licht- und Wärmestrahlen, welche von der Sonne zu uns kommen, rührt offenbar daher, daß der Weg, welchen die Sonnenstrahlen durch die Atmosphäre hindurch zurückzulegen haben, bedeutend größer ist, wenn die Sonne dem Horizonte nahe steht; je größer aber der

Weg ist, den die Sonnenstrahlen in der Atmosphäre zurücklegen, desto mehr Licht und Wärme wird absorbirt werden.

Um annähernd die Wärmeabsorption in der Atmosphäre zu bestimmen, hat Herschel ein Instrument construirt, welches er Heliometer genannt hat. Pouillet gab diesem Instrumente folgende vervollkommnete Einrichtung.

Das cylindrische Gefäß v, Fig. 546, ist aus dünnem Silberblech gemacht; sein Durchmesser beträgt ungefähr 1 Decimeter, seine Höhe 14 bis 15 Millimeter, so daß es ungefähr 100 Gramm Wasser aufnehmen kann. In dem Gefäße befindet sich die Kugel eines Thermometers, dessen Röhre durch einen das Gefäß verschließenden Kork in eine hohle Metallröhre hineinragt; diese Metallröhre geht durch zwei Hülsen bei c und c', so daß sie mit dem Gefäße v mittelst des Knopfes b beständig um ihre Axe gedreht werden kann; diese Umdrehung hat zum Zweck, das Wasser im Gefäße v in beständiger Bewegung zu erhalten, damit sich die Wärme in demselben möglichst gleichförmig verbreitet.

Fig. 546.



Die obere Fläche des Gefäßes v ist mit Ruß sorgfältig geschwärzt. Die Scheibe d hat denselben Durchmesser wie das Gefäß v; richtet man also das Instrument so gegen die Sonne, daß der Schatten des Gefäßes v gerade auf die Scheibe d fällt, so kann man sicher seyn, daß die Sonnenstrahlen die vordere Fläche des Gefäßes rechtwinklig treffen.

Wenn die geschwärzte Oberfläche des Instrumentes rechtwinklig von den Sonnenstrahlen getroffen wird, so steigt die Temperatur des Wassers in v über die der Umgebung.

Wenn das Gefäß v sich erwärmt, so verliert es auch Wärme, theils durch Strahlung gegen den Himmelsraum, theils an die Umgebung. Wenn ein solcher Verlust nicht stattfände, so würde die durch den wärmenden Einfluß der Sonnenstrahlen hervorgebrachte Temperaturerhöhung des Gefäßes v jedenfalls bedeutender seyn als die, welche man beobachtet; um aber auf die Wärme schließen zu können, welche dem Instrumente wirklich durch die Sonnenstrahlen zugeführt wird, ist deshalb an den beobachteten Temperaturerhöhungen eine Correction anzubringen. Der Versuch wird deshalb in folgender Weise angestellt.

Wenn das Wasser in dem Gefäße die Temperatur der umgebenden Luft hat,

wird das Instrument nahe an dem Orte, wo man es den Sonnenstrahlen aussetzen will, im Schatten aufgestellt, und zwar so, daß die Wärme von der berußten Fläche frei gegen den Himmel ausstrahlen kann. Man beobachtet nun 5 Minuten lang die Erkaltung; in der folgenden Minute bringt man einen Schirm vor die schwarze Fläche und richtet dann den Apparat so, daß die Sonnenstrahlen rechtwinklig einfallen, wenn man am Ende der 5ten Minute den Schirm wegnimmt. Während der folgenden 5 Minuten beobachtet man die durch die Sonnenstrahlen hervorgebrachte Temperaturerhöhung, indem man das Wasser des Gefäßes v in beständiger Bewegung erhält; am Ende der 10ten Minute setzt man den Schirm wieder vor, zieht den Apparat an seine frühere Stelle zurück und beobachtet dann die während der folgenden 5 Minuten stattfindende Erkaltung.

Es sey g die in 5 Minuten durch die Sonnenstrahlen hervorgebrachte Temperaturerhöhung, r und r' die Temperaturabnahme, welche der Apparat in den 5 vorhergehenden und in den 5 folgenden Minuten erleidet, so ist die Temperaturerhöhung t, welche durch die Sonnenstrahlen hervorgebracht seyn würde, wenn kein Wärmeverlust stattgefunden hätte:

$$t = g + \frac{r + r'}{2}.$$

Die folgende Tabelle enthält die Resultate von 5 Beobachtungsreihen, welche Pouillet mit dem Heliometer angestellt hat.

Beobachtungsstunden.	Dicke der durchlaufenen Luftschicht.	Beobachtete Temperaturerhöhung.
	Am 28. Juni 1837.	
7 U. 30′ Morgens	1,860	3°80
10 U. 30′ »	1,164	4,00
Mittag	1,107	4,70
1 U.	1,132	4,65
2 »	1,216	4,60
3 »	1,370	»
4 »	1,648	4,00
5 »	2,151	»
6 »	3,165	2,40
	Am 27. Juli 1837.	
Mittag	1,147	4,90
1 U.	1,174	4,85
2 »	1,266	4,75
3 »	1,444	4,50
4 »	1,764	4,10
5 »	2,174	3,50
6 »	3,702	3,35

Beobachtungsstunden.	Dicke der durchlaufenen Luftschicht.	Beobachtete Temperaturerhöhung.
	Am 22. September 1837.	
Mittag	1°507	4°60
1 U.	1,559	4,50
2 »	1,723	4,30
3 »	2,102	4,00
4 »	2,898	3,10
5 »	4,992	»
	Am 4. Mai 1838.	
Mittag	1,191	4,80
1 U.	1,223	4,70
2 »	1,325	4,60
3 »	1,529	4,30
4 »	1,912	3,90
5 »	2,603	3,20
6 »	4,311	1,95
	Am 11. Mai 1838.	
11 U.	1,193	5,05
12 »	1,164	5,10
1 »	1,193	5,05
2 »	1,288	4,85
3 »	1,473	4,70
4 »	1,812	4,20
5 »	2,465	3,65
6 »	3,943	2,70

Die erste Columne dieser Tabelle enthält die Beobachtungsstunden, die zweite die Dicke der von den Sonnenstrahlen durchlaufenen Luftschicht, die verticale Höhe der Atmosphäre gleich 1 gesetzt; die dritte enthält die beobachtete Temperaturerhöhung des Wassers im Heliometer.

Aus dieser Tabelle sehen wir nun zunächst, daß die Sonnenstrahlen um so mehr an wärmender Kraft verlieren, je weiter der Weg ist, welchen sie in der Atmosphäre zurückzulegen haben. Betrachten wir z. B. die Beobachtungen vom 11. Mai 1838, so finden wir, daß um 1 Uhr Nachmittags die Temperaturerhöhung 5,05° betrug um 5 Uhr, wo die Dicke der durchlaufenen Luftschicht ungefähr doppelt so groß war, betrug die Temperaturerhöhung nur 3,65°, sie war also um 1,4° geringer; für die dreifache Dicke der Luftschicht, ungefähr um 6 Uhr

Abends, war die Temperaturerhöhung nur 2,7°, also abermals um 0,9° geringer.

Man sieht daraus, daß die wärmende Kraft der Sonnenstrahlen in einem etwas weniger raschen Verhältnisse abnimmt, als die Dicke der durchlaufenen Luftschicht wächst.

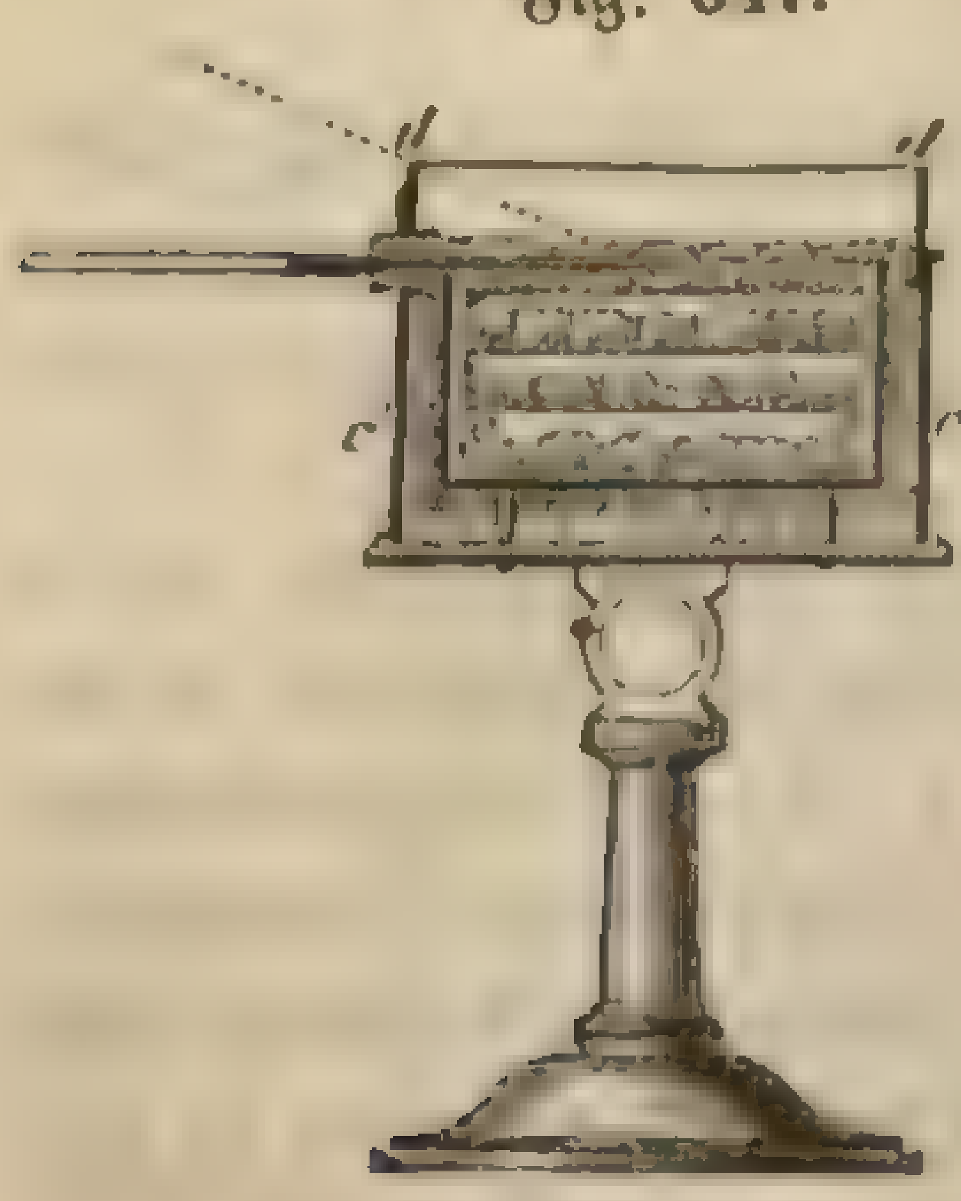
Aus solchen Beobachtungen die absolute Größe der atmosphärischen Absorption berechnen zu wollen, wie es Pouillet gethan hat, ist nicht wohl zulässig.

222 **Eigene Wärme der Erde und Temperatur des Weltraums.** Obgleich alle Wärme auf der Erdoberfläche nur von der Sonne kommt, so hat doch die Erde auch ihre eigenthümliche Wärme, wie aus der Temperaturzunahme folgt, welche man in großen Tiefen beobachtet hat. Wenn die Wärme nach dem Mittelpunkte der Erde hin auch in größerer Tiefe noch in dem Maaße zunimmt, wie es uns diese Beobachtungen zeigen, so müßte schon in einer Tiefe von 3200 Metern die Temperatur des siedenden Wassers herrschen, im Mittelpunkte der Erde aber müßten alle Körper glühend seyn und im geschmolzenen Zustande sich befinden. Daß wir von dieser ungeheuren Hitze im Inneren der Erde auf der Oberfläche nichts merken, läßt sich durch das schlechte Leitungsvermögen der erkalteten Erdkruste erklären, welche diesen glühenden Kern einschließt.

Auch der Weltraum hat seine eigenthümliche Temperatur, und es hat nicht an Versuchen gefehlt, dieselbe zu bestimmen. Nach Fourier ist die Temperatur des Weltraums — 50° bis — 60°; Arago aber hat darauf aufmerksam gemacht, daß sie jedenfalls bedeutend geringer seyn muß, da man ja auf dem Fort Reliance in Nordamerika eine Temperatur von — 56,7° beobachtet hat. Eine so starke Temperaturerniedrigung wäre auf der Erde nicht möglich, wenn die Temperatur des Weltraums nicht bedeutend geringer wäre.

Die Erkaltung der Erdoberfläche durch die nächtliche Strahlung ist eine Folge davon, daß die Körper auf der Erdoberfläche gegen diesen kalten Weltraum ausstrahlen. Um die Gesetze der nächtlichen Strahlung zu ermitteln, hat Pouillet ein Instrument construirt, welches er Actinometer nennt und welches Fig. 547 dargestellt ist. Es besteht aus einem Thermometer, welches in einem Metallcylinder horizontal in solcher Weise angebracht ist, daß durch Schwanenfedern jede Wärmezuleitung von unten und von der Seite her gehindert wird. Wenn dieser Apparat in einer heiteren Nacht in's Freie gestellt wird, so muß das Thermometer natürlich bedeutend unter die Temperatur der umgebenden Luft sinken. Die folgende Tabelle enthält einige Resultate, welche Pouillet mit diesem Instrumente erhalten hat.

Fig. 547.



Tage.	Stunden.	Temperatur der Luft.	Temperatur des Actinometers.	Unterschiede.	Tage.	Stunden.	Temperatur der Luft.	Temperatur des Actinometers.	Unterschiede.
Vom 20. bis 21. April					Vom 5. bis 6. Mai				
20. April	8 U. Abds.	5,6	— 0,8	6,4	5. Mai	5 U. Abds.	25,5	19,9	5,6
	9	4,5	— 2,0	6,5		6	25,1	17,5	7,6
	10	3,6	— 3,0	6,6		7	23,1	15,0	8,1
21. »	4½ Morg.	0,0	— 7,0	7,0		8	22,9	13,9	9,0
	5	0,0	— 7,0	7,0		9	21,5	12,5	9,0
	5½	0,1	— 6,5	6,6		10	17,5	10	7,5
					6. »	4 U. Morg.	12,1	5	7,1
						4½	12,1	5	7,1
						5	12	6	6,0

Diese Versuche zeigen uns, daß die Temperatur des Actinometers fast in derselben Weise abnimmt, wie die Temperatur der Luft, daß also bei niedriger Lufttemperatur eine eben so starke Strahlung gegen den Himmelsraum stattfindet wie bei hoher. So fanden auch Wells und Daniell eine durch die nächtliche Strahlung bewirkte Temperaturerniedrigung von 7 bis 8° unter die Temperatur der Luft; Wilson beobachtete einen Unterschied von fast 9° zwischen der Temperatur der Schneeoberfläche und der Luft, Scoresby und Parry haben in den Polargegenden ähnliche Beobachtungen bei einer Lufttemperatur von — 20° gemacht. Dies beweist nun, daß die Temperatur des Weltraums sehr gering seyn muß, denn sonst müßte der Einfluß der nächtlichen Strahlung bei niedriger Temperatur geringer seyn als bei hoher.

Pouillet hat die Temperatur des Weltraums zu — 142° bestimmt; da jedoch die Schlüsse, durch welche er zu diesem Resultate gelangte, sehr gewagt sind; indem ihre Grundlage höchst unsicher ist, so mag hier die Anführung dieses Resultats genügen.

Zweites Kapitel.

Vom atmosphärischen Druck.

Tägliche Variationen des Barometers. Wenn man in unseren Ge- 223
genden einige Zeit lang mehrmals täglich das Barometer beobachtet, so sind

die oft sehr bedeutenden Schwankungen so unregelmäßig, daß man auf den ersten Anblick durchaus keine periodischen Veränderungen wahrnehmen kann, während selbst aus ganz rohen Beobachtungen des Thermometers sich alsbald sowohl eine tägliche als eine jährliche Periode im Gange der Temperatur nachweisen läßt.

Schon im ersten Bande ist angeführt worden, daß in den Tropen die zufälligen Schwankungen des Barometers ungleich geringer sind als in den höheren Breiten, daß dagegen zwischen den Wendekreisen eine tägliche Periode der Barometerschwankungen sich entschieden ausspricht; dort reicht es hin, das Barometer nur einen oder zwei Tage lang zu beobachten, um die täglichen Variationen zu constatiren.

Es fragt sich nun, ob in höheren Breiten wirklich gar keine periodischen Barometerschwankungen stattfinden, oder ob sie nur durch die weit bedeutenderen zufälligen Schwankungen maskirt sind. Um entscheiden zu können, ob mitten in den beständig stattfindenden zufälligen Schwankungen des Barometers sich nicht auch ein periodisches Steigen und Fallen geltend macht, muß man die Mittelzahlen einer großen Reihe von Barometerbeobachtungen mit einander vergleichen, welche regelmäßig zu bestimmten Stunden des Tages angestellt worden sind. Wenn man jedoch einen Monat lang das Barometer an mehreren bestimmten Stunden des Tages beobachtet und das Mittel aus allen zu derselben Stunde gemachten Beobachtungen nimmt, so reicht dies hin, um die Existenz einer täglichen Periode der Barometerschwankungen auch für unsere Gegenden zu beweisen. Die folgende Tabelle enthält die Resultate einer 20jährigen von Bouvard auf der Sternwarte zu Paris angestellten Reihe von Barometerbeobachtungen; sie giebt die auf 0° reducirten Barometerstände in Millimetern an. Die Beobachtungsstunden waren 9 Uhr Morgens, 12 Uhr Mittags, 3 Uhr Nachmittags und 9 Uhr Abends.

Jahr.	Höchster Stand.		Tiefster Stand.		Mittlere Barometerstände.				
	H. St.	Tag. Monat.	T. St.	Tag. Monat.	9 Uhr.	12 Uhr.	3 Uhr.	9 Uhr.	Mittel.
1819	70,89	1. Jan.	38,00	1. März.	5,104	4,863	4,389	4,789	4,786
1820	72,60	9. »	26,33	24. »	6,077	5,838	5,352	5,712	5,745
1821	80,82	6. Febr.	15,54	24. Dec.	5,986	5,755	5,285	5,764	5,697
1822	75,93	27. »	34,60	2. »	7,437	7,158	6,591	7,020	7,052
1823	72,23	7. Dec.	22,34	2. Febr.	5,033	4,796	4,353	4,633	4,704
1824	73,24	27. Mai.	28,66	12. Oct.	5,817	5,567	5,072	5,385	5,460
1825	76,35	10. Jan.	26,82	10. Nov.	7,742	7,430	6,873	6,962	7,252
1826	74,79	17. »	31,53	13. »	7,367	7,047	6,509	6,868	6,948
1827	73,48	28. Dec.	33,50	4. März.	6,211	5,995	5,484	5,847	5,884
1828	71,10	12. »	30,54	21. Febr.	6,306	6,084	5,616	5,982	5,997
1829	73,46	3. Febr.	34,68	7. Oct.	5,377	5,107	4,641	5,145	5,068
1830	71,90	1. Jan.	29,42	9. Dec.	5,918	5,691	5,255	5,772	5,646
1831	72,40	8. »	33,80	30. April.	5,356	5,157	4,676	5,176	5,091
1832	71,02	4. April.	38,05	30. »	7,893	7,548	7,025	7,597	7,515
1833	74,04	8. Jan.	30,68	1. »	5,790	5,508	4,988	5,521	5,452
1834	72,00	27. Dec.	39,46	10. Jan.	9,014	8,650	8,073	8,690	8,607
1835	76,63	2. Jan.	30,16	10. Oct.	7,270	6,990	6,494	7,114	6,967
1836	75,81	2. »	24,00	28. März.	5,363	5,038	4,578	5,165	5,036
1837	72,41	14. Oct.	37,74	13. Sept.	6,686	6,381	5,861	6,360	6,322
1838	72,31	31. Dec.	28,88	25. Febr.	4,679	4,365	3,896	4,355	4,324
1839	71,53	1. Jan.	35,77	20 »	5,386	5,102	4,631	5,048	5,041
1840	72,37	11. »	31,70	4. »	6,492	6,135	5,628	6,198	6,113
Mittel	73,51		31,01		6,257	6,009	5,512	5,957	5,941

Die erste Columne dieser Tabelle enthält die Angabe der Beobachtungsjahre; dann folgt die Angabe des in jedem Jahre beobachteten höchsten und tiefsten Barometerstandes, und zwar ist hier der Abkürzung wegen 700, bei den mittleren Barometerständen aber 750 weggelassen; so steht z. B. in der Columne »höchster Stand« bei 1835 die Zahl 76,63, der höchste im Jahre 1835 beobachtete Barometerstand war also 776,63 Millimeter. Die für eine jede Beobachtungsstunde angegebenen Zahlen sind das Mittel aus allen zu dieser Stunde im Laufe eines Jahres gemachten Beobachtungen; so ist z. B. 754,389 das Mittel aus allen im Laufe des Jahres 1819 um 3 Uhr Nachmittags beobachteten Barometerständen.

Man sieht aus dieser Tabelle, daß die für die verschiedenen Beobachtungsstunden gefundenen jährlichen Mittel ungleich sind; sie haben durchgängig den höchsten Werth für 9 Uhr Morgens den niedrigsten um 3 Uhr Nachmittags; es spricht sich darin entschieden ein periodisches Sinken und Steigen aus; die nicht periodischen Schwankungen unberücksichtigt gelassen, sinkt demnach das Barometer ungefähr von 9 Uhr Morgens bis 3 Uhr Nachmittags, um dann wieder zu steigen. Um 9 Uhr Morgens steht das Barometer im Durchschnitt um 0,775 Millimeter höher als um 3 Uhr Nachmittags.

Die Amplitude der periodischen Schwankungen ist dieser Tabelle zufolge sehr gering im Vergleich zu den unregelmäßigen nicht periodischen Schwankungen; denn im Durchschnitt ist der höchste Barometerstand im Laufe eines Jahres $773,5^{mm}$, der niedrigste 731^{mm}, ihre Differenz also $42,5^{mm}$, während die Differenz des täglichen Maximums und Minimums nur $0,775^{mm}$ beträgt.

Um den Gang der täglichen Barometerschwankungen gehörig verfolgen zu können, muß eine Zeitlang wenigstens bei Tage stündlich das Barometer beobachtet werden. Die meisten Beobachtungsreihen dieser Art sind jedoch des Nachts nicht fortgesetzt; man kann aber mit ziemlicher Sicherheit aus den am Tage gemachten Beobachtungen auf den Gang des Barometers in der Nacht schließen.

Die folgende Tabelle enthält die Resultate solcher Beobachtungsreihen, welche an verschiedenen Orten angestellt wurden.

Orte.	Gr. Ocean.	Cumana.	La Guayra.	Calcutta.	Padua.	Halle.	Abo.	Petersburg.
Entfernung vom Aequator	0° 0′	10° 28′ n.	10° 36′ n.	22° 35′ n.	45° 24′ n.	51° 29′ n.	60° 57′ n.	59° 66′ n.
Beobachter:	Horner.	Humboldt.	Boussingault.	Balfour.	Ciminello.	Kämtz.	Hallström.	Kupffer.
Mittag	752,35	756,57	759,41	759,61	757,02	753,29	759,31	759,47
1	751,87	755,99	758,91	759,22	756,85	753,11	759,29	»
2	751,55	755,47	758,41	758,39	756,67	752,99	759,27	759,38
3	751,15	755,14	758,12	758,12	756,54	752,89	759,25	»
4	751,02	754,96	758,05	757,91	756,47	752,84	759,25	759,32
5	751,31	755,14	758,10	757,93	756,46	752,86	759,27	»
6	751,71	755,41	758,40	758,01	756,50	752,91	759,29	759,31
7	751,93	755,81	758,90	758,02	756,63	753,02	759,34	»
8	752,35	756,21	759,19	758,54	756,79	753,14	759,39	759,32
9	752,74	756,59	759,69	759,24	756,92	753,24	759,44	»
10	752,85	756,87	759,93	759,33	757,02	753,31	759,47	759,36
11	752,86	757,15	759,98	759,09	757,02	753,29	759,47	»
Mitternacht	752,47	756,86	759,64	758,80	757,01	753,23	759,41	759,35
1	752,20	756,53	759,34	758,62	75 ,90	753,14	759 33	»
2	751,77	756,21	759,05	758,57	756,84	753,05	759,24	759,32
3	751,63	755,89	758,81	758,49	756,78	752,99	759,14	»
4	751,32	755,66	758,68	748 47	756,74	752,99	759,07	759,32
5	741,65	755,79	758,85	758,44	756,75	753,34	759,03	»
6	751,95	756,18	759,32	758,68	756,79	753,12	759,04	759,39
7	752,48	756,58	759,94	759,16	756 89	753,24	759,08	»
8	752,95	756,98	760,50	759,88	757,01	753,37	759,15	759,49
9	753,16	757,31	759,63	760,11	757,08	753,44	759,21	»
10	753,15	757,32	760,50	760,19	757,14	753,46	759,29	759,51
11	752,80	757,01	759,99	760,09	757,07	753,40	759,32	»

Nach dieser Tabelle ist in den folgenden Figuren der Gang der täglichen Barometervariationen für Cumana, Calcutta, Padua und Petersburg anschaulich gemacht.

Fig. 548. Cumana.

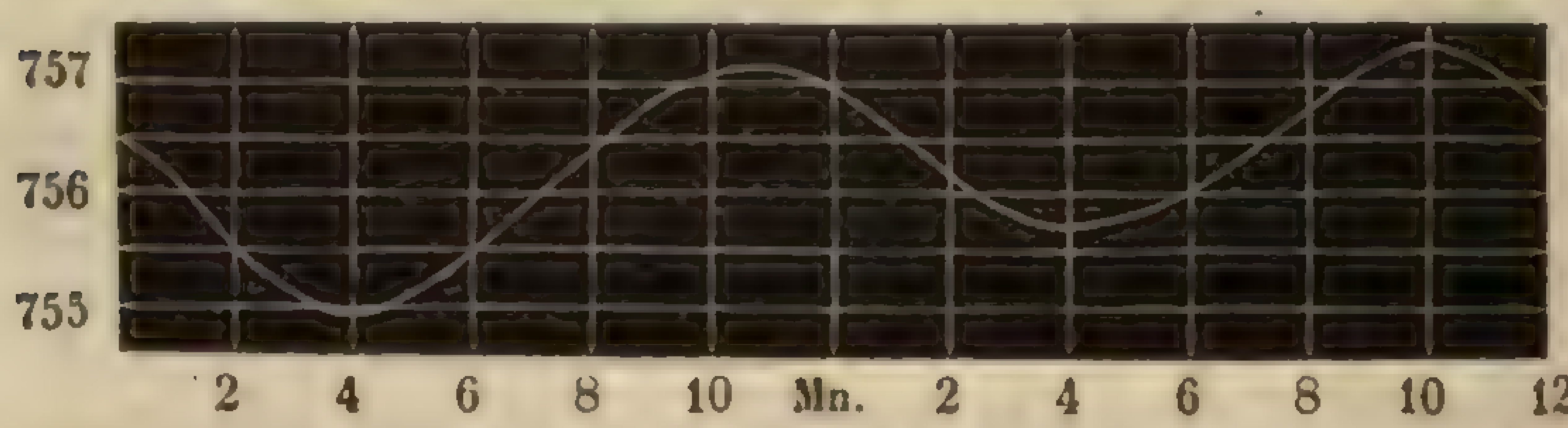


Fig. 549. Calcutta.

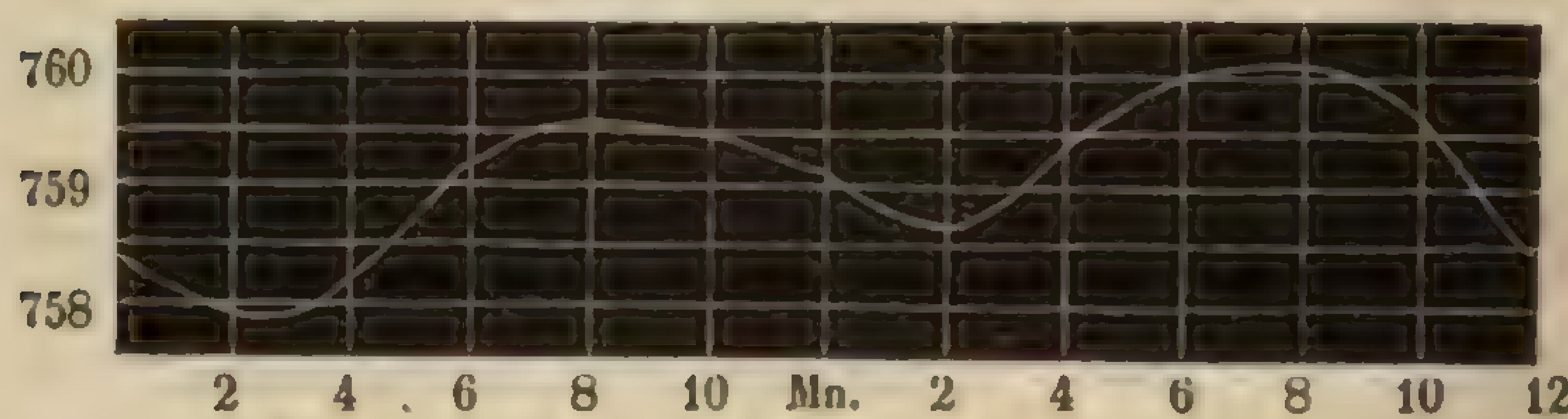


Fig. 550. Padua.

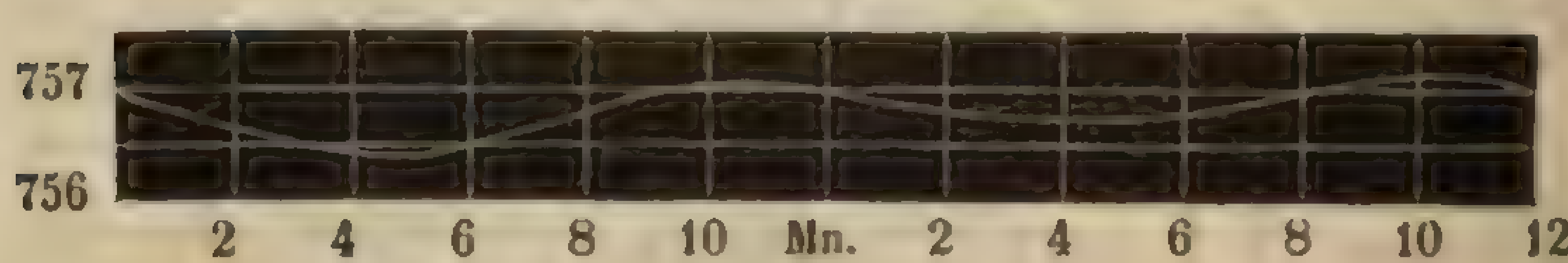
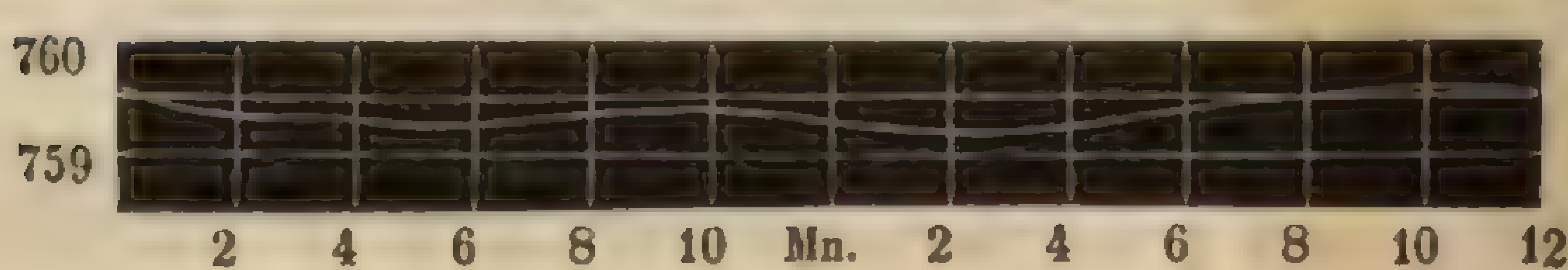


Fig. 551. Petersburg.



Die Zeit ist zur Abscisse genommen, der Maßstab der Ordinaten aber ist vergrößert, weil die Amplitude der täglichen Variationen namentlich in höheren Breiten sonst wegen ihrer Kleinheit nicht sichtbar geworden wäre; die Entfernung je zweier auf einander folgender Horizontallinien stellt $^1/_2$ Millimeter dar.

Das Barometer sinkt also vom Mittag an und erreicht zwischen 3 und 5 Uhr sein erstes Minimum, es steigt dann und erreicht ein Maximum zwischen 9 und 11 Uhr Abends; ein zweites Minimum tritt gegen 4 Uhr Morgens, ein zweites Maximum gegen 9 Uhr Morgens ein.

Die Stunden, in welchen die tägliche Variation ein Maximum oder Minimum erreicht, nennt man **Wendestunden**.

Die Wendestunden sind bei uns nicht für alle Jahreszeiten dieselben, wie

man aus folgender Tabelle ersehen kann, welche für Halle die Wendestunden in den verschiedenen Monaten des Jahres enthält.

Monate.	Minimum.	Maximum.	Minimum.	Maximum.
Januar	2,81 h. A.	9,17 h. A.	4,91 h. M.	9,91 h. M.
Februar	3,43	9,46	3,86	9,66
März	3,82	9,80	3,87	10,10
April	4,46	10,27	3,53	9,53
Mai	5,43	10,93	3,03	9,13
Juni	5,20	10,93	2,83	8,73
Juli	5,21	11,04	3,04	8,48
August	4,86	11,66	3,06	8,96
September . . .	4,55	10,45	3,45	9,71
October	4,17	10,24	3,97	10,07
November . . .	3,52	9,85	4,68	10,08
December . . .	3,15	9,11	3,91	10,18

Bestimmt man die Wendestunden, indem man das Mittel aus allen Monatszahlen nimmt, so ergeben sich für alle Orte sehr nahe dieselben Wendestunden. Wenn die Wendestunden nicht für alle Orte genau dieselben sind, so rührt vielleicht der Unterschied nur daher, daß nicht an allen Orten die Beobachtungsreihen lange genug fortgesetzt wurden; nimmt man alle auf der nördlichen Halbkugel angestellten Beobachtungen zusammen, so ergeben sich im Durchschnitt folgende Wendestunden:

Minimum des Nachmittags	4	Uhr	5	Minuten.
Maximum des Abends . . .	10	»	11	»
Minimum des Morgens . .	3	»	45	»
Maximum des Morgens . .	9	»	37	»

Vergleicht man die Amplitude der täglichen Variationen, so findet man, wie schon angeführt wurde, daß sie in den Tropen am größten ist, und daß sie um so mehr abnimmt, je weiter man sich von dem Aequator entfernt. In Cumana beträgt die Amplitude der täglichen Variationen 2,36, in Petersburg nur 0,2 Millimeter.

Auch die Jahreszeiten üben auf die Größe der täglichen Variationen einen Einfluß aus; selbst in den Tropen ist die Amplitude derselben während der Regenzeit geringer. Im Winter ist die Amplitude der täglichen Schwankungen ein Minimum; zu welcher Zeit sie ein Maximum ist, hat man bis jetzt noch nicht genügend ermittelt. Die folgende Tabelle giebt die Werthe der täglichen Amplitude zu Halle und Mailand für die 12 Monate des Jahres an.

Monate.	Halle.	Mailand.
	mm.	mm.
Januar . . .	0,393	0,738
Februar . . .	0,476	0,718
März	0,488	0,871
April	0,569	0,871
Mai	0,546	0,801
Juni	0,557	0,961
Juli	0,566	0,952
August . . .	0,569	0,812
September. .	0,546	0,817
October . . .	0,566	0,745
November . .	0,426	0,727
December . .	0,363	0,700

224 **Jährliche Periode der Barometerschwankungen.** Wenn man den mittleren Barometerstand für die verschiedenen Monate des Jahres bestimmt, so findet man bald, daß er sich von einem Monate zum anderen bedeutend ändert, und man erkennt in diesen Veränderungen auch bald eine jährliche Periode des Sinkens und Steigens. Die beiden folgenden Tabellen enthalten die mittleren Barometerstände der verschiedenen Monate für 10 Orte der nördlichen Hemisphäre.

Monate.	Havanna.	Calcutta.	Benares.	Macao.	Cairo.
	mm.	mm.	mm.	mm.	mm.
Januar	765,24	764,57	755,41	767,93	762,40
Februar	760,15	758,86	752,91	767,01	»
März.	760,98	756,24	751,19	766,08	759,43
April.	759,58	753,83	747,33	761,93	760,10
Mai	758,19	750,81	745,01	761,64	758,23
Juni	760,67	748,10	741,13	757,31	754,42
Juli	760,67	747,54	740,65	757,91	753,90
August	757,33	748,53	743,31	757,91	754,06
September	757,46	751,85	745,98	762,22	756,70
October	758,19	755,25	750,35	763,37	759,70
November	761,25	758,37	753,06	766,17	760,76
December	763,62	760,59	755,57	768,65	761,82

Monate.	Paris.	Straßburg.	Halle.	Berlin.	Petersburg.
	mm.	mm.	mm.	mm.	mm.
Januar	758,86	751,62	754,64	761,91	762,54
Februar	759,09	752,43	753,44	761,23	763,10
März	756,33	751,19	751,62	759,90	760,76
April	755,18	749,95	750,98	757,82	761,19
Mai	755,61	750,49	752,57	759,88	760,94
Juni	757,28	752,16	752,70	759,81	759,83
Juli	756,52	751,64	753,27	759,58	758,25
August	756,74	752,03	752,18	759,02	759,94
September	756,61	752,59	753,42	760,53	761,19
October	754,42	751,82	755,55	761,25	760,82
November	755,75	751,28	753,27	759,43	758,05
December	755,09	750,70	754,10	760,35	760,22

Fig. 552. Calcutta.

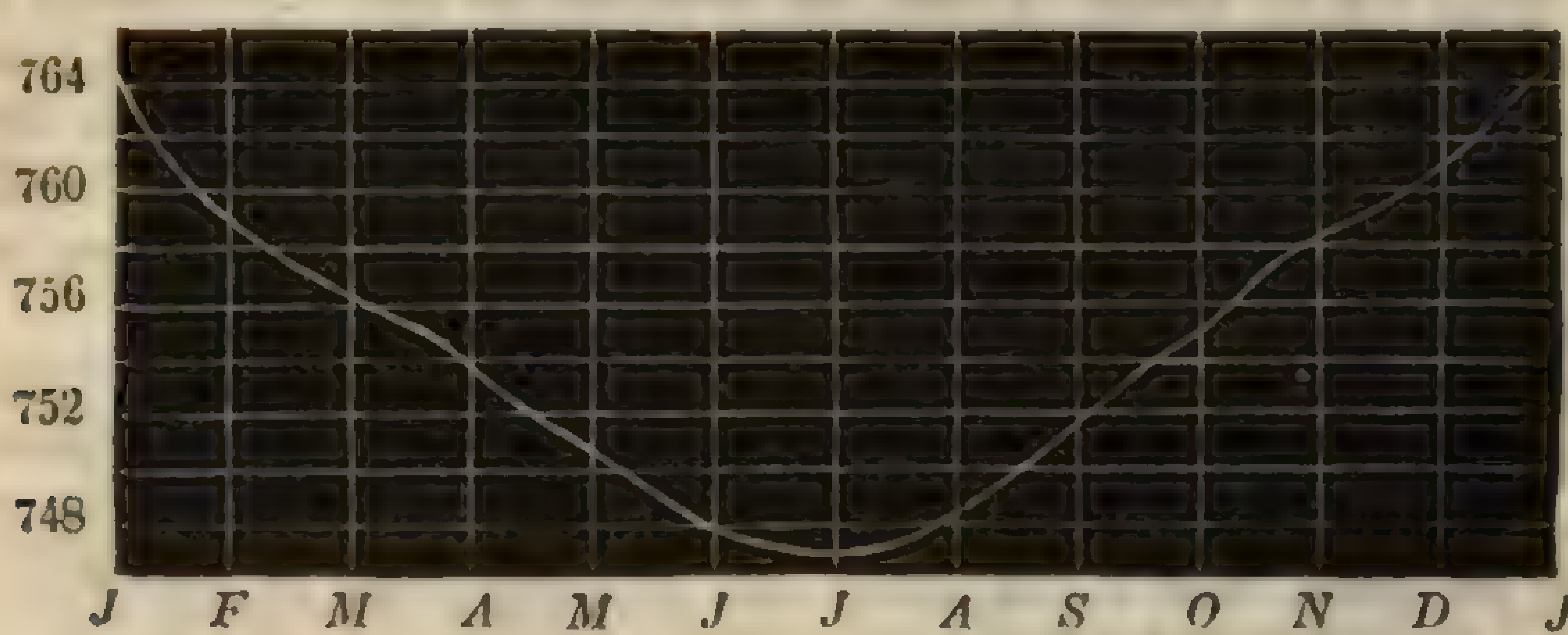


Fig. 553. Macao.

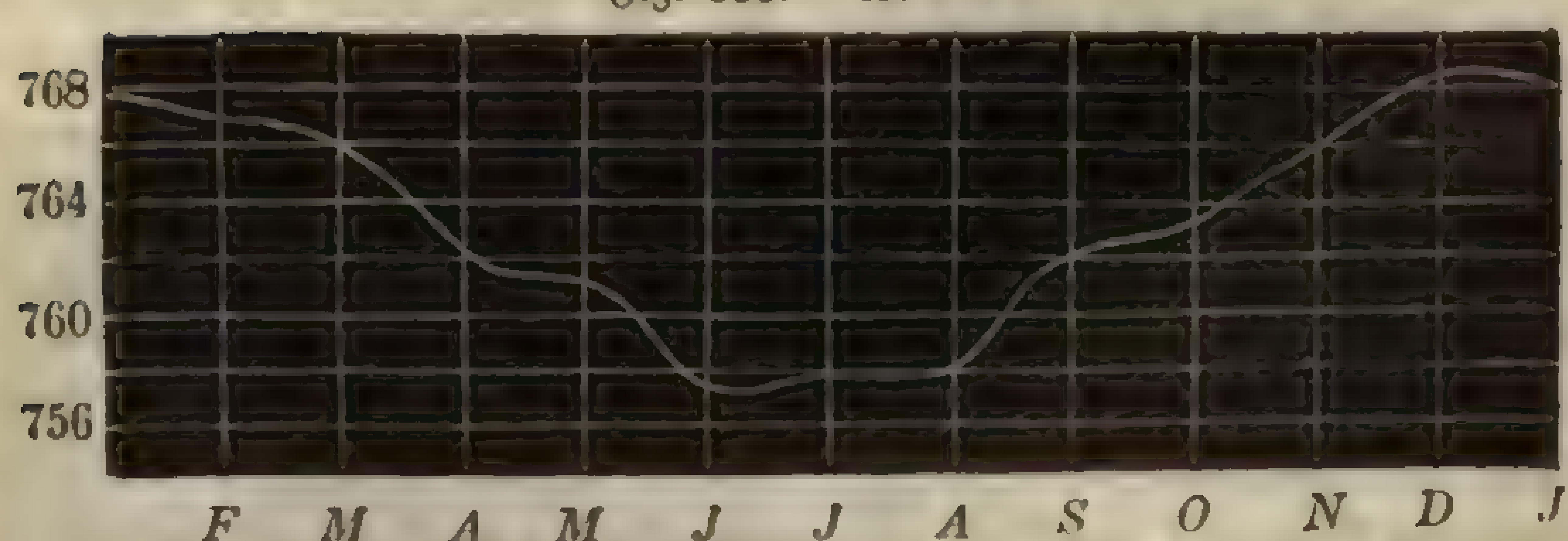


Fig. 554. Paris.



Fig. 555. Petersburg.



Um die Veränderungen des mittleren Barometerstandes im Laufe eines Jahres anschaulicher zu machen, folgt hierbei in Fig. 552 bis 555 die graphische Darstellung derselben für Calcutta, Macao, Paris und Petersburg. Die Entfernung zweier Horizontallinien entspricht einer Höhendifferenz von 2 Millimetern, in verticaler Richtung ist also der Maßstab dieser Figuren 4mal kleiner, als der Maßstab der Figuren 548 bis 551.

In Calcutta, wo man eine achtjährige Reihe von Beobachtungen angestellt hat, spricht sich die jährliche Periode am entschiedensten aus. Im Januar ist der mittlere Barometerstand am höchsten, er sinkt beständig bis zum Juli, wo er sein Minimum erreicht, und steigt dann wieder bis zum Januar. Die Amplitude der jährlichen Periode beträgt für Calcutta 17 Millimeter; in Amerika scheint diese Amplitude, welche ebenfalls mit der Entfernung vom Aequator abnimmt, geringer zu seyn.

Auch in höheren Breiten ist der mittlere Barometerstand im Winter höher als in allen übrigen Jahreszeiten, außerdem aber ist in größerer Entfernung vom Aequator der periodische Gang des mittleren Barometerstandes im Laufe des Jahres nicht so regelmäßig, wie man sowohl aus der Tabelle, als auch in den Figuren sehen kann.

225 **Einfluß der Höhe über dem Meeresspiegel auf die periodischen Schwankungen des Barometers.** Da das Barometer die Größe des Druckes anzeigt, welchen die über uns befindliche Luft ausübt, so werden die Schwankungen des Barometers auf hohen Bergen, wo eine Luftsäule von weit geringerer Höhe und Dichtigkeit drückt, auch geringer seyn müssen als in der Tiefe, und es läßt sich erwarten, daß in gewissen Höhen über dem Meeresspiegel die Veränderungen des Luftdrucks ganz unmerklich werden. Daß die Erhebung über das Niveau des Meeres wirklich einen solchen Einfluß ausübt, geht aus den Barometerbeobachtungen hervor, welche Kämtz auf dem Rigi und auf dem Faulhorn angestellt hat, und welche in der folgenden Tabelle mit den gleichzeitigen mittleren Barometerständen der verschiedenen Tagesstunden

zu Zürich zusammengestellt sind. Die Zahlen von 10 Uhr Abends bis 5 Uhr Morgens sind durch Interpolation bestimmt.

Stunden.	Zürich.	Rigi.	Unterschiede.	Zürich.	Faulhorn.	Unterschiede.
	mm 720 +	mm 610 +	mm 100 +	mm 730 +	mm 550 +	mm 170 +
Mittag.	4,08	4,36	9,72	1,58	7,88	3,70
1	3,92	4,37	9,57	1,25	7,75	3,50
2	3,82	4,38	9,45	0,99	7,66	3,33
3	3,72	4,34	9,38	0,71	7,59	3,13
4	3,63	4,34	9,30	0,64	7,50	3,15
5	3,61	4,30	9,31	0,76	7,49	3,27
6	3,76	4,38	9,38	0,92	7,51	3,41
7	3,95	4,40	9,57	1,21	7,41	3,80
8	4,22	4,57	9,87	1,52	7,43	4,10
9	4,55	4,70	9,85	1,72	7,44	4,27
10	4,61	4,72	9.90	1,79	7,41	4,39
11	4,68	4,68	10,00	1,77	7,36	4,41
Mitternacht.	4,58	4,58	10,01	1,72	7,28	4,44
1	4,43	4,45	9,99	1,63	7,19	4,45
2	4,28	4,30	9,98	1,54	7,08	4,47
3	4,19	4,17	10,03	1,51	6,96	4,55
4	4,18	4,09	10,10	1,54	6,90	4,65
5	4,25	4,03	10,23	1,66	6,90	4,76
6	4,31	4,03	10,28	1,79	7,05	4,76
7	4,38	4,05	10,33	1,97	7,16	4,80
8	4,41	4,13	10,28	2,13	7,36	4,77
9	4,38	4,16	10.22	2,20	7,62	4,57
10	4,29	4,23	10,06	2,12	7,89	4,24
11	4,19	4,34	9,86	1,87	7,99	3,97

Hier zeigt sich der Einfluß der Höhe auf die Größe der täglichen Variationen entschieden. Die Differenz zwischen dem höchsten und niedrigsten Stande ist in Zürich 1,56mm, während sie auf dem Faulhorn nur 1,09mm ist. Außer der Größe der Schwankungen zeigt sich aber auch im Gange des Barometers eine große Verschiedenheit, wie man am besten aus Fig. 556 übersieht, in welcher die täglichen Variationen auf dem Faulhorn und in Zürich durch Curven anschaulich gemacht sind. Die Zahlen rechts beziehen sich auf die untere, die Zahlen links auf die obere Curve. Man sieht, daß am Nachmittag das Barometer an beiden Orten sinkt, in Zürich steigt es aber von 4

Fig. 556.



4 Uhr an bis gegen 9 Uhr Abends, während auf dem Faulhorn das Sinken in den Abendstunden kaum merklich unterbrochen ist und dann bis 5 Uhr Morgens fortdauert; nun steigt auf dem Faulhorn das Barometer wieder bis gegen Mittag, während es in Zürich schon um 9 Uhr Morgens seinen höchsten Stand erreicht; auf dem Faulhorn ist also das zweimalige Sinken und Steigen im Laufe des Tages fast verschwunden, es ist nur ein entschiedenes Maximum und ein entschiedenes Minimum wahrzunehmen.

226 **Mittlere monatliche Schwankungen.** Es ist bereits erwähnt worden, daß in unseren Gegenden die periodischen Schwankungen des Barometers durch die zufälligen nicht periodischen maskirt sind, daß man die periodischen Schwankungen nur durch Mittelzahlen aus lange fortgesetzten Beobachtungsreihen nachweisen kann. Wir wollen uns jetzt zur Betrachtung der nicht periodischen Schwankungen wenden und zunächst den Einfluß der Jahreszeiten auf die Größe derselben kennen lernen.

Nach den vom physikalischen Vereine zu Frankfurt a. M. angestellten meteorologischen Beobachtungen sind Folgendes die Unterschiede des höchsten und tiefsten Tagesmittel für jeden der 12 Monate vom Jahre 1837 bis 1843 in Pariser Linien:

	1837	1838	1839	1840	1841	1842	1843	Mittel.
Januar	9,5	10,5	15	13,5	15	10,5	18	13,1
Februar	13	15	10,5	15,5	10	13	13	13
März	6,5	12,5	10	8,5	13	12	7,5	10
April	8,5	8	6,5	8	8	11,5	8	8,3
Mai	6	7,5	7	11	7,5	6,5	7	7,5
Juni	3,5	5,5	7,5	5,5	8,5	5	5	5,8
Juli	4,5	5,5	4,5	6,5	7	7	8,5	6,2
August	8,5	7,5	8,5	6	8	7	5,5	7,3
September . . .	8	9,5	9,5	9,5	6	8	9	8,3
October	11	8,5	4	13	11	13	11	10,2
November . . .	13	12	7,5	14	16,5	14	7	12
December	9,5	9,5	9,5	12,5	10	8,5	7,5	9,6

Man übersieht aus dieser Tabelle, daß die Größe der nicht periodischen Schwankungen im Sommer kleiner ist als im Winter, besonders deutlich übersieht man dies aus den Mittelzahlen der letzten Columne. Nimmt man das Mittel aus den 12 Zahlen der letzten Columne, so erhält man den Werth 9,28 Pariser Linien oder 20,4 Millimeter als Durchschnittswerth für die Differenz der monatlichen Extreme.

Dies ist jedoch noch nicht der wahre Mittelwerth für die Größe der monat=

lichen Schwankungen, denn wir haben ja nicht die Differenz des im Laufe eines Monats beobachteten höchsten und niedrigsten Barometerstandes, sondern nur den Unterschied des höchsten und tiefsten mittleren täglichen Barometerstandes in Rechnung gebracht.

Die folgende Tabelle enthält die mittlere monatliche Amplitude der Barometerschwankungen an verschiedenen Orten der Erde.

Batavia	6°	12′	S.	2,98mm
Tivoli (St. Domingo)	18	35	N.	4,11
Havanna	23	9		6,38
Calcutta	22	34		8,28
Teneriffa	28	26		8,48
Funchal (Madeira)	22	37		10,42
Cap der guten Hoffnung	33	55	S.	12,45
Rom	41	53	N.	17,15
Montpellier	43	36		18,02
Mailand	45	28		19,24
Wien	48	13		20,53
Prag	50	5		21,54
Paris	48	50		23,66
Mannheim	48	29		23,66
Moskau	55	46		24,05
Berlin	52	31		25,24
New-Haven (Connecticut)	41	10		25,29
Jakuzk	62	2		25,92
London	51	31		27,88
Petersburg	59	56		29,24
Nain (Labrador)	57	8		32,35
Christiania	59	55		33,05
Naes (Island)	64	30		35,91

Die nicht periodischen Barometerschwankungen sind also nicht allein im Winter größer als im Sommer, sondern sie sind auch in kalten Ländern bedeutender als in heißen, d. h. sie nehmen im Allgemeinen um so mehr zu, je weiter man sich vom Aequator entfernt.

Solche Linien auf der Erdoberfläche, welche alle Orte mit einander verbinden, für welche die mittlere monatliche Amplitude der Barometerschwankungen dieselbe ist, heißen isobarometrische Linien.

Wir können hier den Lauf der isobarometrischen Linien nicht weiter verfolgen und müssen uns auf einige allgemeine Bemerkungen beschränken. Aus der eben mitgetheilten Tabelle ersieht man, daß die isobarometrischen Linien durchaus nicht mit den Parallelkreisen zusammenfallen. Calcutta und Havanna liegen nahe in gleicher Breite, und doch sind die Barometerschwankungen in Calcutta weit bedeutender. An der Ostküste von Nordamerika sind die zufälligen Schwankungen des Barometers viel größer als an den Westküsten

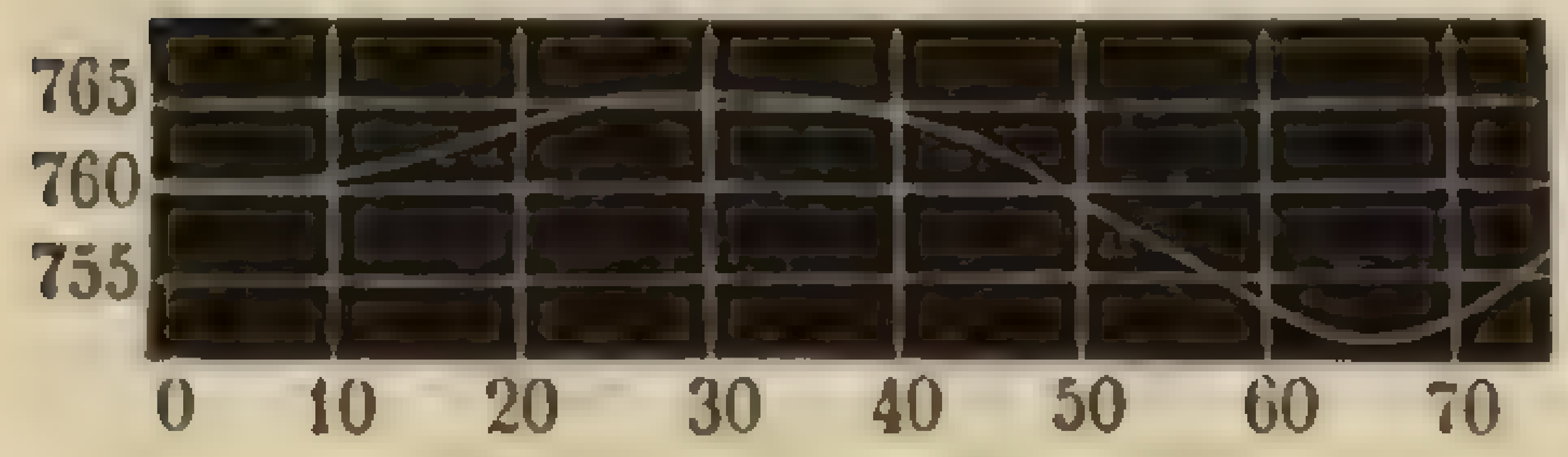
von Europa, sie sind in New-Haven und dem 11° 21′ nördlicher gelegenen Berlin fast gleich, die isobarometrischen Linien steigen also von den Ostküsten Nordamerikas nach Europa und entfernen sich dann um so weiter vom Aequator, je weiter man in's Innere des Continents der alten Welt kommt.

227 **Mittlere Barometerhöhe im Niveau des Meeres.** Man glaubte früher, daß der mittlere Barometerstand am Meeresspiegel allenthalben derselbe sey; dies ist jedoch nicht der Fall, wie man aus folgender Tabelle ersehen kann, in welcher die mittleren Barometerstände verschiedener am Meere gelegener Orte zusammengestellt sind.

Cap der guten Hoffnung .	33°		S.	763,01^{mm}
Rio Janeiro	23			764,03
Christianborg	5°	30′	N.	760,10
St. Thomas	19			760,51
Macao	33			762,99
Madeira	32	30		765,18
Neapel	41			762,95
Paris	49			761,41
Edinburg	56			758,25
Reikiavig	64			752,00
Spitzbergen	75	30		756,76

Wir sehen aus dieser Tabelle, wie dies in Fig. 557 auch graphisch dargestellt ist, daß der mittlere Barometerstand am Meere vom Aequator nach dem Nordpole hin erst wenig, dann rascher zunimmt, daß er zwischen dem 30. und 40. Breitengrade sein Maximum erreicht, dann weiter nach Norden hin wieder abnimmt und zwischen dem 60. und 70. Grade nördlicher Breite am kleinsten ist.

Fig. 557.



228 **Ursachen der Barometerschwankungen.** Die letzte Ursache aller Barometerschwankungen ist in der ungleichen und stets sich ändernden Wärmevertheilung auf der Erde zu suchen. Da sich die Wärmevertheilung auf der Erde beständig ändert, so wird auch das Gleichgewicht in jedem Augenblicke gestört, es entstehen Luftströmungen, welche das gestörte Gleichgewicht herzustellen streben, und so ist denn die Luft in beständiger Bewegung; bald mehr erwärmt und deshalb leichter, bald wieder erkaltet und deshalb dichter, bald mehr, bald weniger Wasserdampf enthaltend, wird auch der Druck der Luftsäule fortwährenden Veränderungen unterworfen sein, welche uns das Barometer anzeigt.

Daß wirklich Temperaturveränderungen die Ursache der Barometerschwankungen sind, geht schon daraus hervor, daß sie in den Tropen, wo die Tem-

peratur so wenig veränderlich ist, auch am unbedeutendsten sind, in höheren Breiten dagegen, wo die Variationen der Temperatur immer bedeutender werden, da ist auch die Amplitude der zufälligen Barometerschwankungen sehr groß; ja selbst im Sommer, wo die Temperatur im Allgemeinen weniger veränderlich ist, sind die Oscillationen des Barometers kleiner als im Winter.

Obgleich man im Allgemeinen nachweisen kann, daß die ungleiche und stets sich ändernde Erwärmung der Luft beständige Veränderungen in der Größe des Luftdrucks zur Folge haben muß, so sind wir doch noch weit davon entfernt, alle einzelnen hierher gehörigen Erscheinungen genügend erklären zu können.

Wenn an irgend einem Orte die Luft bedeutend erwärmt wird, so dehnt sie sich aus, die Luftsäule erhebt sich über die Luftmasse, welche auf den kälteren Umgebungen ruht, die in die Höhe gestiegene Luft wird also oben nach den Seiten hin abfließen, der Druck der Luft muß also an den wärmeren Orte abnehmen, das Barometer wird daselbst sinken müssen; in den kälteren Umgebungen aber muß das Barometer steigen, weil sich die in den oberen Regionen der erwärmten Gegenden seitwärts abfließende Luft über die Atmosphäre der kälteren Gegenden verbreitet.

Es läßt sich dies durch den Apparat Fig. 558 anschaulich machen. *a* und *b* sind Blechröhren von $1^1/_2$ bis 2 Fuß Höhe, welche unten bei *e* durch ein Stück Thermometerrohr verbunden sind. Mit der Blechröhre *a* ist die Glasröhre *c*, mit der Röhre *b* ist die Glasröhre *d* in Verbindung. Wenn man in eine der Röhren *b* oder *a* Wasser gießt, so wird dasselbe nur langsam durch die enge Röhre bei *e* in die andere Röhre fließen können. Wenn man beide Röhren *a* und *b* fast bis oben füllt und sie dann oben durch ein hinlänglich weites Heberrohr *f* in Verbindung setzt, so muß sich das Wasser in allen vier Röhren, *c*, *a*, *b* und *d*, gleich hoch stellen. Nun aber geht durch das Blechrohr *b* von oben bis unten ein unten offenes Glasrohr *gi* hindurch, durch welches die in dem Kolben *h* mittelst einer Weingeistlampe entwickelten Wasserdämpfe hindurchgeleitet werden. In unserer Figur ist der Kolben *h* neben die Röhre *d* gezeichnet worden; es ist aber besser, wenn er, was sich in der Figur nicht so gut hätte darstellen lassen, hinter *b* sich befindet.

Fig. 558.



Da das Rohr *gi* mit kaltem Wasser umgeben ist, so werden die durchstreichenden Dämpfe verdichtet, und das Wasser in *b* wird erwärmt. Wenn nun zwischen *a* und *b* gar keine Verbindung wäre, so würde die Wassersäule in *b* steigen, ohne daß das Wasser in *d* steigt, weil *b* erwärmt wird, *d* aber kalt bleibt; weil aber die Röhren *b* und *a* oben durch die Heberröhre *f* verbunden

sind, so kann das Wasser in *b* nicht höher stehen als in *a*, ein Theil des in *b* erwärmten Wassers fließt nach *a* über, und in Folge dessen sinkt das Wasser in *d*, in *c* aber steigt es, weil zu dem schon in *a* vorhandenen Wasser noch neues durch den Heber *f* hinzukommt.

Wäre *e* eine hinlänglich weite Röhre, so würde das Wasser in allen vier Röhren stets gleich hoch bleiben, weil in dem Maaße, als warmes Wasser durch *f* nach *a* fließt, unten umgekehrt kaltes Wasser durch *e* nach *b* fließen würde, weil sich also das gestörte Gleichgewicht in jedem Augenblicke wieder herstellt; dies ist aber nicht möglich, weil die Röhre *e* zu enge ist. Ebenso wird in erkalteten Gegenden der Luftdruck zu-, in erwärmten abnehmen, weil die Luft in den unteren Regionen nicht schnell genug der erwärmten Gegend zuströmen kann, um das gestörte Gleichgewicht sogleich wieder herzustellen.

Dadurch erklärt sich auch, warum in unseren Gegenden im Durchschnitte bei Südwestwinden das Barometer am tiefsten, bei Nordostwinden am höchsten steht; die Südwestwinde bringen uns warme Luft, während uns die Nordostwinde kältere Luft zuführen. Da wo ein warmer Luftstrom weht, müßte die Atmosphäre eine größere Höhe haben als da, wo der kalte Wind weht, wenn der Druck der ganzen Luftsäule an beiden Orten derselbe seyn sollte; wäre dies aber auch wirklich der Fall, so würde die Luft des warmen Stromes oben abfließen, das Barometer also unter dem warmen Luftstrome sinken, unter dem kalten dagegen steigen.

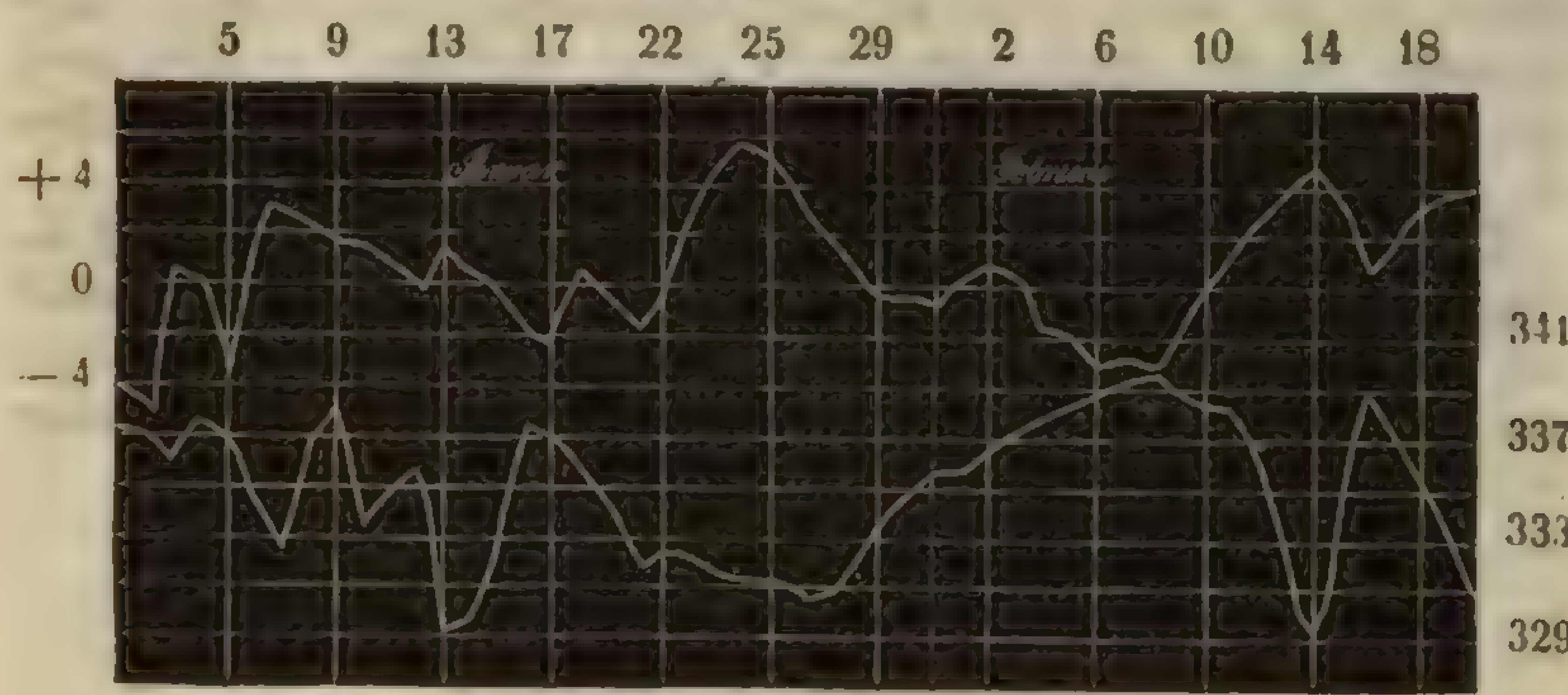
In Europa sind im Durchschnitte die Südwestwinde auch die Regenwinde, weil sie, von wärmeren Meeren kommend, mit Wasserdampf gesättigt sind, welcher sich nach und nach verdichtet und als Regen niederfällt, wenn der Wind zu immer kälteren Gegenden gelangt. In dieser Condensation des Wasserdampfes ist ein zweiter Grund zu suchen, warum das Barometer bei Südwestwinden niedrig steht. So lange nämlich der Wasserdampf als förmliches Gas einen Bestandtheil der Atmosphäre ausmacht, ist ihm ein Theil des atmosphärischen Druckes zuzuschreiben, ein Theil der Quecksilbersäule im Barometer wird durch den Wasserdampf getragen; das Barometer muß also sinken, wenn der Wasserdampf aus der Atmosphäre durch Verdichtung ausgeschieden wird.

Dieser Umstand erklärt auch, daß der mittlere Barometerstand am Meere zwischen dem 60. und 70. Breitengrade so gering ist; die Luft, welche von südlichen Gegenden herkommt, verliert mehr und mehr ihren Wassergehalt, der Druck, den sie ausübt, muß also nach und nach abnehmen.

Nach der eben entwickelten Ansicht ist das Sinken des Barometers eine Erscheinung, welche das Wehen warmer Winde begleitet, während kalte Winde ein Steigen des Barometers veranlassen; im Allgemeinen wird also das Thermometer steigen, wenn das Barometer fällt. Dies ist auch in der That der Fall, und zwar tritt dieser Gegensatz im Gange der beiden Instrumente am deutlichsten im Winter auf. Die Figur 559, welche den Beobachtungen des physikalischen Vereins zu Frankfurt a. M. entnommen ist, zeigt den Gang der mittleren täglichen Temperatur und des mittleren täglichen Barometerstan-

des daselbst vom 1. Januar bis zum 20. Februar 1837; man sieht, wie in der That das Barometer gewöhnlich steigt, wenn das Thermometer fällt, und daß ein barometrisches Minimum meistens mit einem thermometrischen Maximum zusammenfällt.

Fig. 559.



Die Versuchsreihen anderer Jahre und anderer Orte geben dasselbe Resultat.

Wenn dieser Gegensatz im Sommer nicht so rein auftritt, so ist der Grund davon darin zu suchen, daß die an sich warmen Südwestwinde im Sommer doch eine kühlere Temperatur zur Folge haben, weil, wenn sie wehen, der Himmel meistens bewölkt ist und dadurch die Erwärmung des Bodens durch die Sonnenstrahlen verhindert wird, während die abkühlende Wirkung der Nordostwinde dadurch neutralisirt wird, daß sich bei heiterem Himmel durch die kräftig wirkenden Sonnenstrahlen der Boden bedeutend erwärmt. Damit hängt auch die geringe Amplitude der Barometerschwankungen im Sommer zusammen.

Da die Südwestwinde, welche in unseren Gegenden ein Sinken des Barometers bewirken, uns auch eine feuchte Luft zuführen und regnerisches Wetter bringen, während das Barometer steigt, wenn Nordostwinde wehen, welche die Luft trocken und den Himmel heiter machen, so kann man allerdings sagen, daß im Allgemeinen ein hoher Barometerstand schönes Wetter, ein tiefer aber schlechtes Wetter anzeigt. Dies ist aber, wie gesagt, nur eine Durchschnittsregel, denn bei Nordostwind ist der Himmel auch öfters bewölkt, bei Südwestwind auch manchmal heiter; sie ist jedoch in derselben Ausdehnung wahr wie die, daß bei Nordostwind das Barometer hoch, bei Südwestwind dagegen tief steht; dies ist auch nicht immer, sondern nur im Durchschnitte wahr. Wir können uns von solchen Anomalien keine Rechenschaft geben, weil uns die mannigfachen Elemente nicht genügend bekannt sind, welche den Gleichgewichtszustand der Atmosphäre bedingen.

Daß ein hoher Barometerstand im Allgemeinen heiteres Wetter, ein tiefer aber trübes Wetter anzeigt, ist auch nur für solche Orte wahr, an welchen die

warmen Winde zugleich die Regen bringenden sind. An dem Ausflusse des La Platastromes z. B. sind die kalten Südostwinde, welche vom Meere her wehen und das Barometer steigen machen, die Regenwinde; die warmen Nordwestwinde aber, bei welchem das Barometer sinkt, sind trockene Landwinde und bringen heiteres Wetter. Dem Umstande, daß dort der Regen durch kalte Winde gebracht wird, ist die geringere Regenmenge dieser Gegenden zuzuschreiben, während unter gleicher Breite an den Westküsten von Südamerika sehr viel Regen fällt, indem hier der warme Nordwestwind zugleich ein Seewind ist.

Die tägliche Periode der Barometerschwankungen ist wesentlich durch die Veränderungen im Feuchtigkeitszustande der Luft bedingt; wir werden deshalb auf diesen Gegenstand zurückkommen, wenn wir die Veränderungen werden kennen gelernt haben, welche der Wassergehalt der Luft im Laufe des Tages erleidet.

Drittes Kapitel.

Von den Winden.

229 **Entstehung der Winde.** Wenn man im Winter die in einem kalten Raum führende Thür eines geheizten Zimmers etwas öffnet und eine brennende Kerze an das obere Ende des Spaltes hält, wie man Fig. 560 sieht, so zeigt die nach außen gerichtete Flamme einen von dem warmen Zimmer nach dem kalten Raume gerichteten Luftstrom an. Rückt man nun mit der Kerze mehr und mehr herunter, so stellt sich die Flamme immer mehr aufrecht, ungefähr in der halben Höhe der Oeffnung steht sie ganz still, sie ist hier nicht durch Luftströmungen afficirt; bringt man sie aber noch weiter herunter, so wird die Flamme von außen nach innen getrieben. Man sieht also, daß die erwärmte Luft oben aus- und daß dagegen unten die kalte Luft in das Zimmer einströmt.

Fig. 560.



Wie hier im Kleinen die ungleiche Erwärmung der beiden Räume Luftströmungen veranlaßt, so ist auch die ungleiche stets wechselnde Erwärmung der Erdoberfläche und des über ihr schwebenden Luftmeeres die Ursache der Luftströmungen, die

wir Winde nennen. Auch im Großen sieht man die Luft in den stärker erwärmten Gegenden aufsteigen und in der Höhe nach den kälteren abfließen, während unten die Luft von den kälteren Gegenden den wärmeren zuströmt.

Ein einfaches Beispiel geben uns die Land- und Seewinde, welche man häufig an den Meeresküsten, namentlich aber auf den Inseln wahrnimmt. Einige Stunden nach Sonnenaufgang erhebt sich ein von dem Meere nach der Küste gerichteter Wind, der Seewind, weil das feste Land unter dem Einflusse der Sonnenstrahlen stärker erwärmt wird als das Meer, über dem Lande steigt die Luft in die Höhe und fließt oben nach dem Meere hin ab, während unten die Luft vom Meere gegen die Küsten strömt. Dieser Seewind ist anfangs schwach und nur an den Küsten selbst fühlbar, später nimmt er zu und zeigt sich dann auch auf dem Meere schon in größerer Entfernung von der Küste; zwischen 2 und 3 Uhr Nachmittags wird er am stärksten, nimmt dann wieder ab, und gegen Untergang der Sonne tritt eine Windstille ein. Nun erkaltet Land und Meer durch die Wärmestrahlung gegen den Himmelsraum, das Land erkaltet aber rascher als das Meer, und nun strömt die Luft in den unteren Regionen vom Lande nach dem Meere, während in den oberen Luftregionen eine entgegengesetzte Strömung stattfindet.

Zu den Ursachen, welche Luftströmungen, ja die heftigsten Stürme erzeugen können, ist auch eine schnelle Condensation des atmosphärischen Wasserdampfes zu zählen. Wenn man bedenkt, welch' eine ungeheure Wassermasse während eines Platzregens in wenigen Minuten zur Erde fällt, welch' ungeheures Volumen dieses Wasser eingenommen haben muß, als es noch in Dampfgestalt in der Atmosphäre schwebte, so ist klar, daß durch die plötzliche Condensation dieser Wasserdämpfe eine bedeutende Luftverdünnung bewirkt wird und daß die Luft von allen Seiten her mit Gewalt in den verdünnten Raum eindringen muß, um so mehr, als da, wo die Condensation der Wasserdämpfe stattfindet, die Temperatur der Luft durch die frei werdende Wärme erhöht und dadurch ein kräftig aufsteigender Luftstrom erzeugt wird. Daß auf diese Weise, also gleichsam durch Saugen, häufig Winde, und namentlich Stürme erzeugt werden, dafür sprechen zahlreiche Erfahrungen. Wargentin bemerkt, daß der Westwind in der Regel zu Moskau eher als zu Abo beobachtet wird, obgleich letztere Stadt bedeutend westlicher liegt als Moskau; auch bläst dieser Westwind in Finnland oft eher als in Schweden.

Franklin erzählt, daß, als er zu Philadelphia eine Mondfinsterniß beobachten wollte, er daran durch einen Nordoststurm verhindert wurde, welcher sich gegen 7 Uhr Abends einstellte und den Himmel mit dichten Wolken überzog; er war überrascht, einige Tage nachher zu erfahren, daß der Sturm zu Boston, welches ungefähr 300 englische Meilen nordöstlich von Philadelphia liegt, erst um 11 Uhr Abends angefangen hatte, nachdem schon die ersten Phasen der Mondfinsterniß beobachtet worden waren. Indem er alle Berichte aus den verschiedenen Colonien mit einander verglich, bemerkte Franklin durchgängig, daß dieser Nordoststurm an den verschiedenen Orten um so später sich eingestellt hatte, je weiter sie nach Norden lagen.

Es ist bekannt, daß zwischen Häusern der Wind oft in anderer Richtung weht als über den Gebäuden, weil durch diese die Windrichtung auf mannigfache Art modificirt wird. Gerade so wie die Häuser können aber auch Gebirge locale Störungen in der Windrichtung bewirken.

Oft sieht man die Wolken in anderer Richtung ziehen, als die ist, welche die Windfahnen zeigen, und oft ziehen die höheren Wolken in anderer Richtung als die tiefer schwebenden, woraus hervorgeht, daß in verschiedenen Höhen Luftströmungen nach verschiedener Richtung stattfinden.

230 **Passatwinde und Moussons.** Als Columbus auf seiner Entdeckungsreise nach Amerika seine Schiffe durch einen beständigen Ostwind fortgetrieben sah, wurden seine Gefährten mit Schrecken erfüllt, weil sie fürchteten, nimmer nach Europa zurückkehren zu können. Dieser in den Tropen beständig von Osten nach Westen wehende Wind, welcher so sehr das Erstaunen der ersten Seefahrer des 15. Jahrhunderts erregte, ist der Passatwind. Die Schiffer benutzen diesen Wind, um von Europa nach Amerika zu segeln, indem sie von Madeira aus südlich bis in die Nähe des Wendekreises steuern, wo sie dann durch den Passat nach Westen getrieben werden. Diese Reise ist so sicher und die Arbeit der Matrosen dabei so gering, daß die spanischen Seeleute diesen Theil des atlantischen Oceans den Frauengolf (el golfo de las Damas) nannten. Auch in der Südsee weht dieser Wind; die spanischen Schiffer ließen sich durch ihn in gerader Linie von Acapulco nach Manilla treiben.

Im atlantischen Ocean erstreckt sich der Passatwind bis zum 28. — 30. Grade, im großen Ocean nur bis zum 25. Grade nördlicher Breite. In der nördlichen Hälfte der heißen Zone ist die Richtung des Passatwindes eine nordöstliche; je mehr er sich aber dem Aequator nähert, desto mehr wird seine Richtung rein östlich. Die Gränze des Passats ist in der südlichen Halbkugel weniger genau bestimmt; dort aber hat der Passat eine südöstliche Richtung, die mehr und mehr östlich wird, je weiter er gegen den Aequator vordringt.

Diese Winde wehen rund um die ganze Erde, doch sind sie in der Regel erst 50 Meilen weit vom festen Lande entschieden merklich.

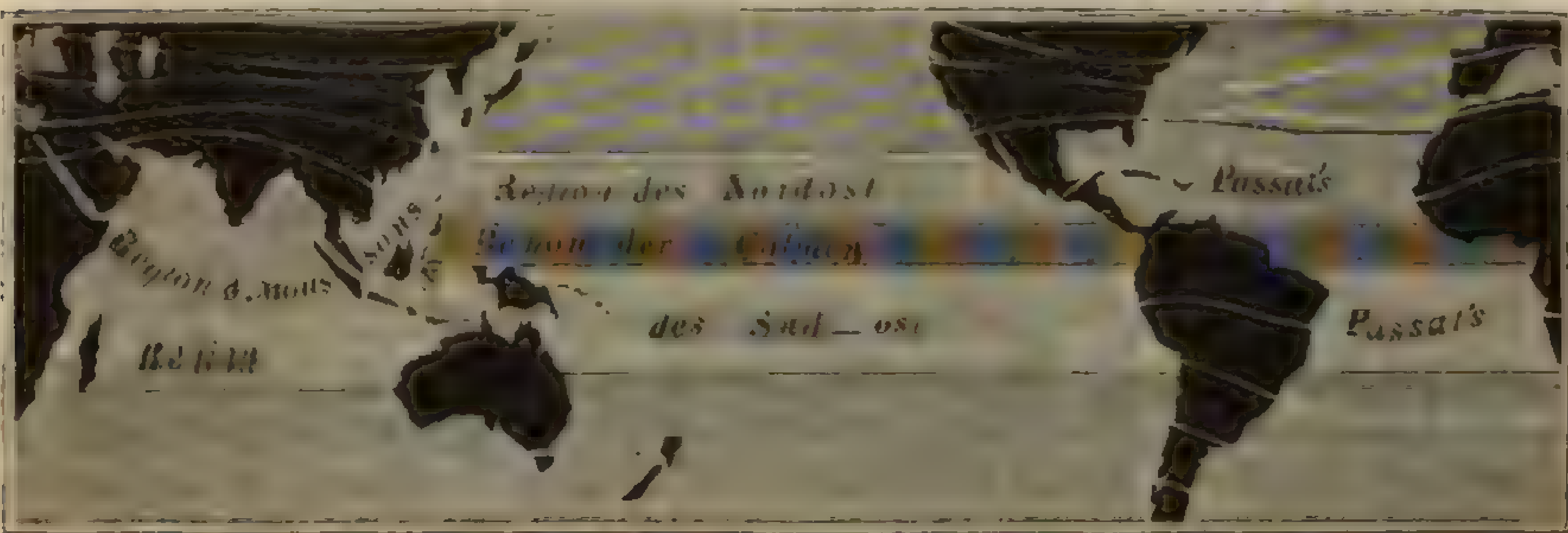
Da, wo der Nordostpassat der nördlichen und der Südostpassat der südlichen Hemisphäre zusammentreffen, combiniren sie sich zu einem rein östlichen Winde, der aber unmerklich wird, weil die horizontale Bewegung der durch die Intensität der Sonnenstrahlen stark erwärmten und deshalb mächtig aufsteigenden Luft eben durch diese verticale Bewegung neutralisirt wird. Es würde in diesen Gegenden eine fast vollkommene Windstille herrschen, wenn nicht die heftigen Stürme, welche die fast täglich unter Donner und Blitz stattfindenden Regengüsse begleiten, die Ruhe der Atmosphäre störten und das Wehen sanfter regelmäßiger Winde unmöglich machten.

Die Zone, welche die Passatwinde der beiden Hemisphären trennt, ist die Region der Calmen.

Das Kärtchen Fig. 561 dient dazu, die Gegenden zu zeigen, in welchen die

Passatwinde herrschen. Die Mitte der Region der Calmen, welche im Durchschnitte eine Breite von 6° hat, fällt nicht, wie man wohl erwarten sollte, mit dem Aequator zusammen, sondern sie liegt nördlich von demselben. Während unserer Sommermonate ist der Gürtel der Calmen breiter, und seine nördliche Gränze entfernt sich mehr vom Aequator, während die südliche Gränze sich nur wenig ändert.

Fig. 561.



Die Ursache davon, daß die Region der Calmen auf der nördlichen Hemisphäre liegt, ist wohl in der Configuration der Continente zu suchen.

Die Passatwinde lassen sich leicht erklären. Die Luft, welche in den Aequatorialgegenden stark erwärmt in die Höhe steigt, erhebt sich über die kälteren Luftmassen zu beiden Seiten und strömt oben nach den Polen hin ab, während unten die Luft von den Polen her dem Aequator zufließt. Wenn die Erde keine Axendrehung hätte, so würde der Passatwind auf der nördlichen Halbkugel gerade von Norden nach Süden, auf der südlichen Hemisphäre aber in entgegengesetzter Richtung wehen. Nun aber dreht sich die Erde von Westen nach Osten, und das Luftmeer, welches sie umgiebt, theilt diese Rotationsbewegung. Je näher ein Ort der Erdoberfläche den Polen liegt, desto langsamer wird er sich in dem während 24 Stunden zu beschreibenden Kreise fortbewegen, weil dieser Kreis um so kleiner ist, je weiter man sich vom Aequator entfernt. Demnach ist auch die Rotationsgeschwindigkeit der über der Erde ruhenden Luftmasse in der Nähe der Pole geringer als am Aequator; wenn nun eine Luftmasse aus höheren Breiten dem Aequator zugeführt wird, so gelangt sie mit geringerer Rotationsgeschwindigkeit über Ländern an, welche sich schneller von Westen nach Osten bewegen; in Beziehung auf diesen unter ihr sich fortbewegenden Boden hat also die Luft eine Bewegung von Osten nach Westen. Diese Bewegung combinirt sich mit der gegen den Aequator hin fortschreitenden Bewegung auf der nördlichen Halbkugel zu einem Nordost-, auf der südlichen aber zu einem Südostwinde.

Die in den Aequatorialgegenden aufsteigende Luft fließt in der Höhe nach beiden Seiten hin ab, um sich nach den Polen hin zu ergießen. Die Richtung dieses oberen Passats ist natürlich der des unteren gerade entgegengesetzt, sie ist

in der nördlichen Halbkugel eine südwestliche, in der südlichen Halbkugel eine nordwestliche.

Daß in den oberen Luftregionen wirklich ein Passat weht, welcher dem unteren entgegengesetzt ist, läßt sich durch Thatsachen beweisen; so wurde z. B. am 25. Februar 1835 bei einem Ausbruche des Vulkans von Cosiguina im Staate Guatemala die Asche bis in die Höhe des oberen Passats geschleudert, der sie in südwestlicher Richtung fortführte, so daß sie auf der Insel Jamaica niederfiel, obgleich in den unteren Regionen der Nordostpassat herrschte.

In größerer Entfernung vom Aequator senkt sich der obere Passat mehr und mehr gegen die Erdoberfläche. Auf dem Gipfel des Piks von Teneriffa herrschen fast immer Westwinde, während am Meeresspiegel der untere Passat weht.

Im indischen Ocean ist die Regelmäßigkeit der Passatwinde durch die Configuration der Ländermassen, welche dieses Meer umgeben, namentlich aber durch den asiatischen Continent, gestört. Im südlichen Theile des indischen Oceans, zwischen Neuholland und Madagaskar, herrscht noch das ganze Jahr hindurch der Südostpassat, in dem nördlichen Theile dieses Meeres aber weht während der einen Hälfte des Jahres ein beständiger Südwest-, während der anderen Hälfte des Jahres ein beständiger Nordostwind. Diese regelmäßig abwechselnden Winde werden Moussons genannt.

Der Südwestwind weht vom April bis zum October, während der übrigen Monate des Jahres weht der Nordostwind.

Während in den Wintermonaten der asiatische Continent erkaltet, die Sonne aber in südlicheren Gegenden eine größere Wärme erzeugt, muß natürlich ein Nordostpassat von dem kälteren Asien nach den heißeren Gegenden wehen. In dieser Zeit ist auch im indischen Ocean der Nordostpassat von dem Südostpassat durch die Region der Calmen getrennt.

Das Wehen des Südostpassats wird zwischen Neuholland und Madagaskar nicht gestört, in den nördlichen Theilen des indischen Oceans aber, in welchen im Winter ein Nordostwind geherrscht hatte, wird dieser in einen Südwestwind verwandelt, weil sich nun der asiatische Continent so stark erwärmt und also eine Luftströmung nach Norden hin veranlaßt, welche durch die Rotation der Erde in einen Südwestwind verwandelt wird.

231 **Winde in höheren Breiten.** Der obere Passat, welcher die Luft von den Aequatorialgegenden zurückführt, senkt sich, wie schon erwähnt wurde, immer mehr und erreicht endlich als Südwestwind den Boden; außerhalb der Region der Passatwinde gehen daher die beiden Luftströmungen, welche die Luft von den Polen zum Aequator und vom Aequator zurück nach den Polen führen, nicht mehr über einander, sondern neben einander her, sie streben einander gegenseitig zu verdrängen, bald erlangt der Südwest, bald der Nordost die Ueberhand, und bei dem Uebergange aus einer dieser Windrichtungen in eine andere sehen wir die Zwischenwinde nach allen Richtungen der Windrose wehen.

Obgleich auch in höheren Breiten Südwest und Nordost die herrschenden Winde sind, so findet zwischen ihnen doch keine so regelmäßige periodische Abwechselung Statt wie bei den Moussons im indischen Oceane.

Die folgende Tabelle giebt die Häufigkeit der Winde in verschiedenen Ländern an; sie giebt nämlich an, wie oft im Durchschnitt unter je 1000 Tagen ein jeder der acht Hauptwinde weht.

Länder.	N.	N.O.	O.	S.O.	S.	S.W.	W.	N.W.
England	82	111	99	81	111	225	171	120
Frankreich	126	140	84	76	117	192	155	110
Deutschland ...	84	98	119	87	97	185	198	131
Dänemark	65	98	100	129	92	198	161	156
Schweden	102	104	80	110	128	210	159	106
Rußland	99	191	81	130	98	143	166	192
Nordamerika ...	96	116	49	108	123	197	101	210

Wir sehen aus dieser Tabelle, daß im westlichen Europa die Südwestwinde entschieden vorherrschen; besonders ist dies in England der Fall. In Rußland dagegen sind die Nordost- und Nordwestwinde vorherrschend.

Der Südwestwind, welcher im westlichen Europa vorherrscht, ist auch auf dem atlantischen Oceane zwischen Europa und Nordamerika der herrschende Wind, und daher kommt es, daß die Ueberfahrt von England nach Nordamerika in der Regel länger dauert als die Rückfahrt. Die Packetboote, welche zwischen Liverpool und New-York fahren, legen den Hinweg durchschnittlich in 40, den Rückweg in 23 Tagen zurück.

Dem im westlichen Europa vorherrschenden Südweststrome, welcher über die warmen Gewässer des atlantischen Oceans gestrichen ist und sich dadurch mit Wasserdämpfen beladen hat, verdankt dieses Land sein Küstenklima. Selbst im westlichen Europa tritt der Charakter des Seeklimas, nämlich milde Winter und kühle Sommer mit häufigem Regen, in solchen Jahren entschiedener auf, in welchen der Südwestwind häufiger weht; in solchen Jahren hingegen, in welchen die nordöstliche Strömung länger herrscht als gewöhnlich, nähert sich der Charakter der Witterung mehr dem des Continentalklimas. So wehten z. B. im Jahre 1816 zu Paris die Nord-, Nordost-, Ost- und Südostwinde 111 Tage, die übrigen Regen bringenden Winde aber 255 Tage lang, und dieses Jahr war bekanntlich ein ungemein feuchtes; die Regenmenge betrug 54,5^{cm}, die mittlere Temperatur des wärmsten Monats war nur 15,6°, die des kältesten 2,6°. Im Jahre 1826 wehten dagegen zu Paris die *N*, *NO*, *O* und *SO*-Winde 156 Tage, die übrigen 209 Tage lang; die Regenmenge betrug in diesem Jahre nur 47,2^{cm}, die mittlere Temperatur des wärmsten Monats war 21,2°, die des kältesten — 1,7°. Das Jahr 1826 war also trockener, sein Sommer heißer, und sein Winter kälter als im Jahre 1816.

Wenn in gewissen Gegenden der nördlichen Hemisphäre die Südwestwinde

die herrschenden sind, so sollte man meinen, daß in anderen Gegenden der Nordoststrom vorherrschen müsse, da doch die Luft zum Aequator zurückkehren muß; Dove meint, daß die Krümmung der Isothermen darauf hindeutet, daß über die Continente der alten und neuen Welt auf der nördlichen Halbkugel zwei nördliche Ströme gehen, über die zwischenliegenden Oceane aber zwei südliche, die sich eine gewisse Strecke weit über die Continente ausbreiten.

Die Existenz eines vorherrschenden Nordoststroms im Inneren der Continente ist jedoch von Anderen in Zweifel gezogen worden, und in der That zeigen alle bis jetzt gemachten Erfahrungen, daß in höheren Breiten der nördlichen Hemisphäre entweder Südwest- oder Westwinde vorherrschen. Es scheint darin aber ein Widerspruch zu liegen; es scheint nämlich, als ob auf diese Weise dem Pole mehr Luft zuströmt, als nach dem Aequator zurückkehrt. Dieser Widerspruch läßt sich aber heben, wenn man bedenkt, daß der Südweststrom wärmere, weniger dichte Luft mit sich führt, besonders aber, daß er eine Menge von Wasserdämpfen nach höheren Breiten bringt, welche, hier condensirt, als Regen oder Schnee niederfallen; nach dem Aequator strömt aber nur die ihres Wasserdampfes beraubte Luft in nordöstlicher Richtung zurück; es muß also in der That dem Pole eine größere Gasmenge zuströmen, weil ein Theil dieser Gase, nämlich der Wasserdampf, nicht in Gasform nach dem Aequator zurückströmt.

232 **Gesetz der Winddrehung**. Obgleich bei einer oberflächlichen Betrachtung in unseren Gegenden die Aenderungen in der Windrichtung ganz regellos zu seyn scheinen, so haben doch aufmerksamere Beobachter schon lange die Bemerkung gemacht, daß die Winde in der Regel in folgender Ordnung auf einander folgen:

S, SW, W, NW, N, NO, O, SO, S.

Am regelmäßigsten läßt sich diese Drehung des Windes während des Winters beobachten; die mit diesem Umschlagen zusammenhängenden Veränderungen des Barometers und des Thermometers hat Dove sehr schön mit folgenden Worten geschildert:

»Wenn der Südwest, immer heftiger wehend, endlich vollkommen durchgedrungen ist, erhöht er die Temperatur über den Gefrierpunkt; es kann daher nicht mehr schneien, sondern es regnet, während das Barometer seinen niedrigsten Stand erreicht. Nun dreht sich der Wind nach West, und der dichte Flockenschnee beweist ebenso gut den einfallenden kälteren Wind als das rasch steigende Barometer, die Windfahne und das Thermometer. Mit Nord heitert der Himmel sich auf, mit Nordost tritt das Maximum der Kälte und des Barometers ein. Aber allmälig beginnt dieses zu fallen, und feine Cirri zeigen durch die Richtung ihres Entstehens den eben eingetretenen südlicheren Wind, den das Barometer schon bemerkt, wenn auch die Windfahne noch nichts davon weiß und noch ruhig Ost zeigt. Doch immer bestimmter verdrängt der südliche Wind den Ost von oben herab, bei entschiedenem Fallen des Quecksilbers wird die Windfahne *SO*, der Himmel bezieht sich allmälig immer mehr, und mit steigender Wärme verwandelt sich der bei *SO* und *S* fallende Schnee

bei SW wieder in Regen. Nun geht es von Neuem an, und höchst charakteristisch ist der Niederschlag auf der Ostseite von dem auf der Westseite gewöhnlich durch eine kurze Aufhellung getrennt.«

Nicht immer läßt sich die Drehung des Windes so rein beobachten, wie es eben angeführt wurde, indem häufig ein Zurückspringen des Windes stattfindet; ein solches Zurückspringen wird aber weit häufiger auf der Westseite der Windrose beobachtet als auf der Ostseite. Eine vollständige Umdrehung des Windes in entgegengesetzter Richtung, nämlich von S nach O, N, W, wird in Europa höchst selten beobachtet.

Dove hat das Gesetz der Winddrehung auf folgende Weise erklärt:

Wird die Luft durch irgend eine Ursache von den Polen nach dem Aequator getrieben, so kommt sie von Orten, deren Rotationsgeschwindigkeit geringer ist, an andere Orte, welche eine größere Rotationsgeschwindigkeit besitzen; ihre Bewegung erhält dadurch eine östliche Richtung, wie wir schon beim Passatwinde gesehen haben. Auf der nördlichen Halbkugel gehen deshalb die Winde, welche als Nordwinde entstehen, bei ihrem allmäligen Fortrücken durch NO in O über. Ist auf diese Weise ein Ostwind entstanden, so wird dieser, wenn die Ursache fortdauert, welche die Luft nach dem Aequator hintreibt, hemmend auf den Polarstrom wirken, die Luft wird die Rotationsgeschwindigkeit des Ortes annehmen, über welchem sie sich befindet, und wenn nun die Tendenz, nach dem Aequator zu strömen, immer noch fortdauert, so springt der Wind nach Norden zurück, und dieselbe Reihe von Erscheinungen wiederholt sich.

Wenn aber, nachdem die Polarströme eine Zeitlang geherrscht haben und die Windrichtung östlich geworden ist, Aequatorialströme eintreten, so wird der Ostwind durch Südost nach Süd umschlagen. Wenn die Luft von Süden nach Norden fortströmt, so gelangt sie mit der größeren Rotationsgeschwindigkeit derjenigen Parallelkreise, welche dem Aequator näher liegen, an Orte, welche eine geringere Rotationsgeschwindigkeit haben; sie wird also der von Westen und Osten rotirenden Erdoberfläche mit noch größerer Rotationsgeschwindigkeit gleichsam voraneilen, die südliche Windrichtung wird allmälig südwestlich und dann ganz westlich werden müssen. Bei fortdauernder Tendenz der Luft, nach dem Pole zu strömen, wird der Wind alsbald wieder nach Süd zurückspringen, gerade so, wie der Ost nach Norden zurückspringt; wenn aber die Aequatorialströmung durch eine Polarströmung verdrängt wird, so schlägt der Westwind durch Nordwest nach Norden um.

Auf der südlichen Halbkugel muß der Wind in entgegengesetzter Richtung umschlagen.

Wo in den Tropen die Passatwinde wehen, giebt es an der Erdoberfläche selbst gar keine vollständige Drehung, die Richtung des Passats wird nur bei seinem Vordringen immer mehr östlich.

In der Region der Moussons findet im Laufe eines ganzen Jahres nur eine einzige Drehung Statt. Man sieht also, daß die Windverhältnisse der Tropen der einfachste Fall des Drehungsgesetzes sind.

531 **Barometrische und thermometrische Windrose.** Es ist schon mehrfach erwähnt worden, daß die Windrichtung einen wesentlichen Einfluß auf die Höhe der Quecksilbersäule im Barometer hat. Die folgende Tabelle giebt die mittlere Barometerhöhe für jeden der acht Hauptwinde an mehreren Orten Europas in Millimetern an.

Winde.	London.	Paris.	Berlin.	Moskau.
N	759,20	759,09	758,68	743,07
N O	760,71	759,49	759,36	745,06
O	758,93	757,24	758,77	743,90
S O	756,83	754,03	754,69	741,74
S	754,37	753,15	751,33	740,63
S W	755,25	753,52	752,57	740,34
W	757,28	755,57	756,00	741,06
N W	758,03	757,78	756,62	741,76

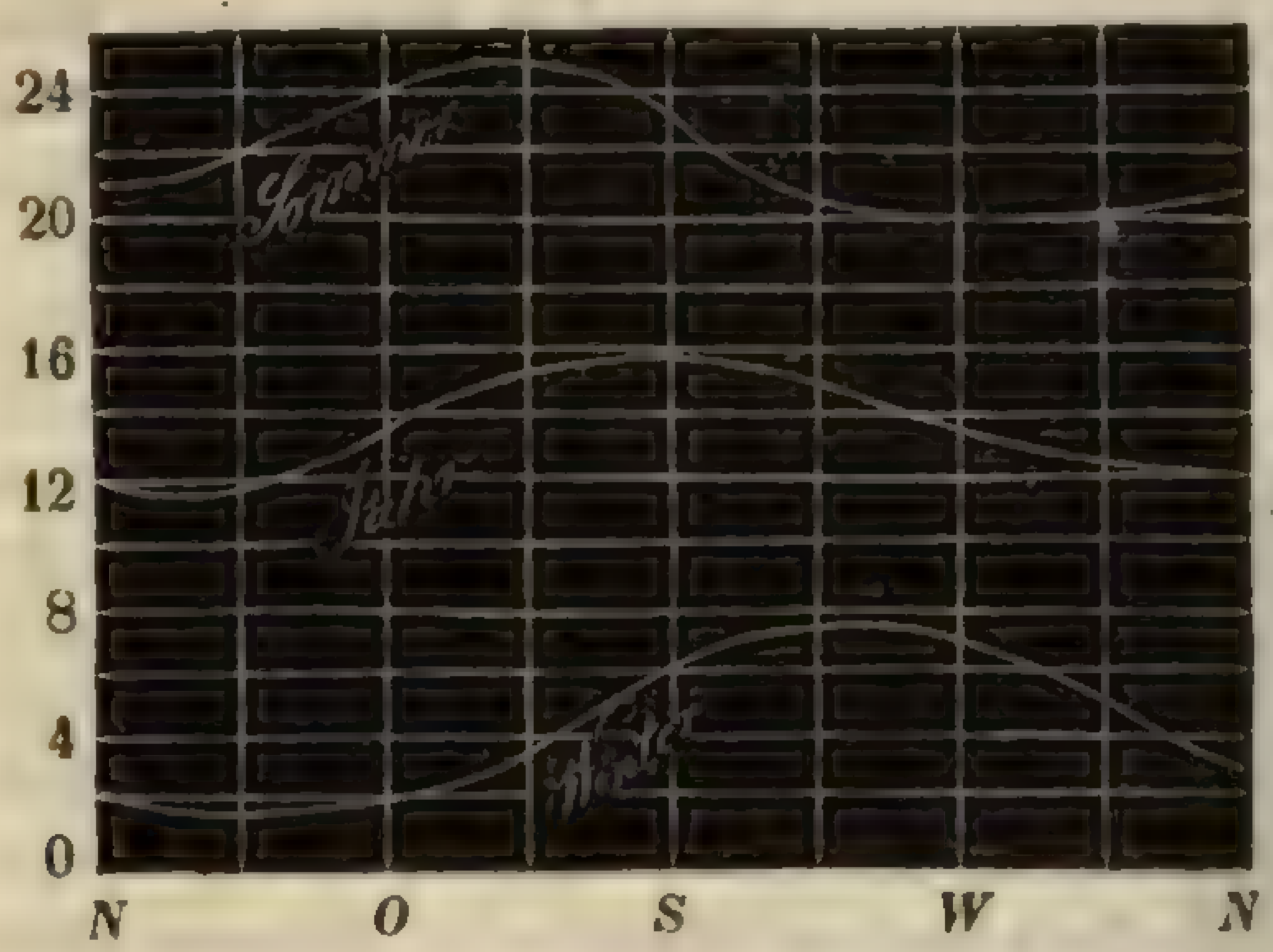
Indem man die mittlere Temperatur aller derjenigen Tage nimmt, an welchen im Laufe des Jahres ein und derselbe Wind weht, erhält man die mittlere Temperatur dieses Windes. Die folgende Tabelle giebt die mittlere Temperatur der Hauptwinde für mehrere Orte an.

Winde.	Paris.	Carlsruhe.	London.	Moskau.
N	12,03	9,88	8,00	1,21
N O	11,76	8,30	7,63	1,44
O	13,50	8,51	8,38	3,53
S O	15,25	12,20	9,50	4,63
S	15,43	12,61	10,00	5,96
S W	14,93	11,00	10,13	5,69
W	13,64	12,20	9,25	5,49
N W	12,39	11,50	8,38	3,33

Nach dieser Tabelle ist für Paris die mittlere der drei Curven in Fig. 562 construirt. Man sieht, wie für Paris, sowie für die anderen angeführten Orte, die Temperatur der Luft im Durchschnitt für die nördlichen Winde niedriger ist als für die südlichen. Die obere der drei Curven zeigt, wie sich im Durchschnitt die mittlere Temperatur zu Paris im Sommer mit der Windrichtung ändert. Während dieser Jahreszeit bringen die Südwest-, West-, und Nordwestwinde die niedrigste Temperatur, weil sie von einem bedeckten Himmel be-

gleitet sind, welcher die Erwärmung des Bodens hindert; die Südostwinde bringen dagegen im Sommer die größte Wärme. Im Winter ist es, wie die untere Curve zeigt, am kältesten, wenn Nord-, Nordost- und Ostwinde wehen, weil sie an und für sich von kälteren Ländern kommen und weil sie den Himmel heiter machen, wodurch die nächtliche Wärmestrahlung befördert wird; wogegen die Erwärmung durch die Sonnenstrahlen während des kurzen Tages nur unbedeutend ist; die Süd-, Südwest- und Westwinde hingegen sind an und für sich wärmer und hindern die nächtliche Strahlung, da sie den Himmel bedeckt machen.

Fig. 562.



Stürme. Die Stürme sind Folgen einer bedeutenden Störung im Gleich- 233
gewichte der Atmosphäre, und höchst wahrscheinlich rührt diese Störung von einer raschen Condensation der Wasserdämpfe her, wie dies schon oben angedeutet wurde. Nach der Ansicht von Brandes entstehen die Stürme dadurch, daß die Luft mit Gewalt von allen Seiten dem Orte der Verdünnung zuströmt, während das Minimum des Luftdrucks selbst eine fortschreitende Bewegung hat. Auf diese Weise erklärt es sich, daß das Barometer bei Stürmen so tief sinkt. Diese Ansicht hat auch in Amerika an Espy einen Vertheidiger gefunden.

Gegen diese Theorie hat Dove eingewendet, daß die Richtung des Windes, wie man sie zu beiden Seiten der Linie, nach welcher das Minimum des Luftdrucks fortrückt, vor, während und nach dem Sturme beobachtet, nicht ganz mit dieser Ansicht übereinstimmt. Während des Sturmes am 21. December 1821 ging die Linie des am meisten verminderten Luftdrucks von Brest nach der Südspitze von Norwegen; zu Anfang des Sturmes hätte also von allen Seiten her der Wind nach Brest hin blasen, es hätte also in London zu Anfang des Sturmes ein Nordost-, in Paris ein Ostwind wehen müssen, während den Beobachtungen zufolge der Wind zu Anfang des Sturmes zu London ein Südost, in Paris ein Südwind war. Zu Ende des Sturmes hätte der Wind nach der Südspitze von Norwegen hin wehen, er hätte also in London und Paris ein Südwest seyn müssen, während in der That an beiden Orten der Wind während des Sturmes durch Südwest nach West und Westnordwest umschlug.

Dove hat eine andere Theorie der Stürme aufgestellt, nach welcher sie Wirbelwinde sind, in denen die Luft nach einer bestimmten Richtung rotirt, während diese Wirbel zugleich eine fortschreitende Bewegung haben. Auf der nördlichen Hemisphäre außerhalb der Tropen schreiten die Wirbel in südwestlicher Richtung voran, die Rotationsrichtung ist aber *SONW*. Nach dieser Theorie wäre bei dem erwähnten Sturme zu Anfange desselben Brest, zu Ende desselben die Südspitze von Norwegen der Mittelpunkt des Wirbels gewesen.

In Fig. 563 stelle *a b* die Linie vor, nach welcher das Minimum des Luftdrucks fortschreitet; für den speciellen Fall also, den wir eben betrachtet haben, wäre *a* etwa Brest, *b* die Südspitze von Norwegen. Die um *a* gezogenen Kreise stellen die Wirbel zu Anfang, die um *b* gezogenen aber zu Ende des Sturmes dar. Man sieht, daß nach dieser Theorie in der That südöstlich von der Linie *a b* ein Südost- oder Südwind wehen muß, z. B. in *d* und *e* Südost, in *c* und *f* Süd; zu Ende des Sturmes aber wird an diesen Orten, wie man aus den um *b* gezogenen Kreisen sieht, der Wind eine westliche Richtung haben; der Wind schlägt also hier von Südost und Süd nach West um. Auf der Nordwestseite der Linie *a b* schlägt der Wind in entgegengesetzter Richtung um; er ist z. B. in *g* zu Anfang des Sturmes ein Ost-, zu Ende des Sturmes ein Nordwind.

Fig. 563.



Auf der südlichen Halbkugel ist die Rotationsrichtung der Wirbel die entgegengesetzte, und außerhalb der Tropen schreiten sie in nordwestlicher Richtung vorwärts.

Innerhalb der Tropen ist auf der nördlichen Halbkugel die Richtung der Stürme eine südöstliche, auf der südlichen eine nordöstliche; so wie aber die Stürme die Gränze des Passats erreichen, biegen sie um, indem sie auf der nördlichen Halbkugel eine südwestliche, auf der südlichen eine nordöstliche Richtung annehmen.

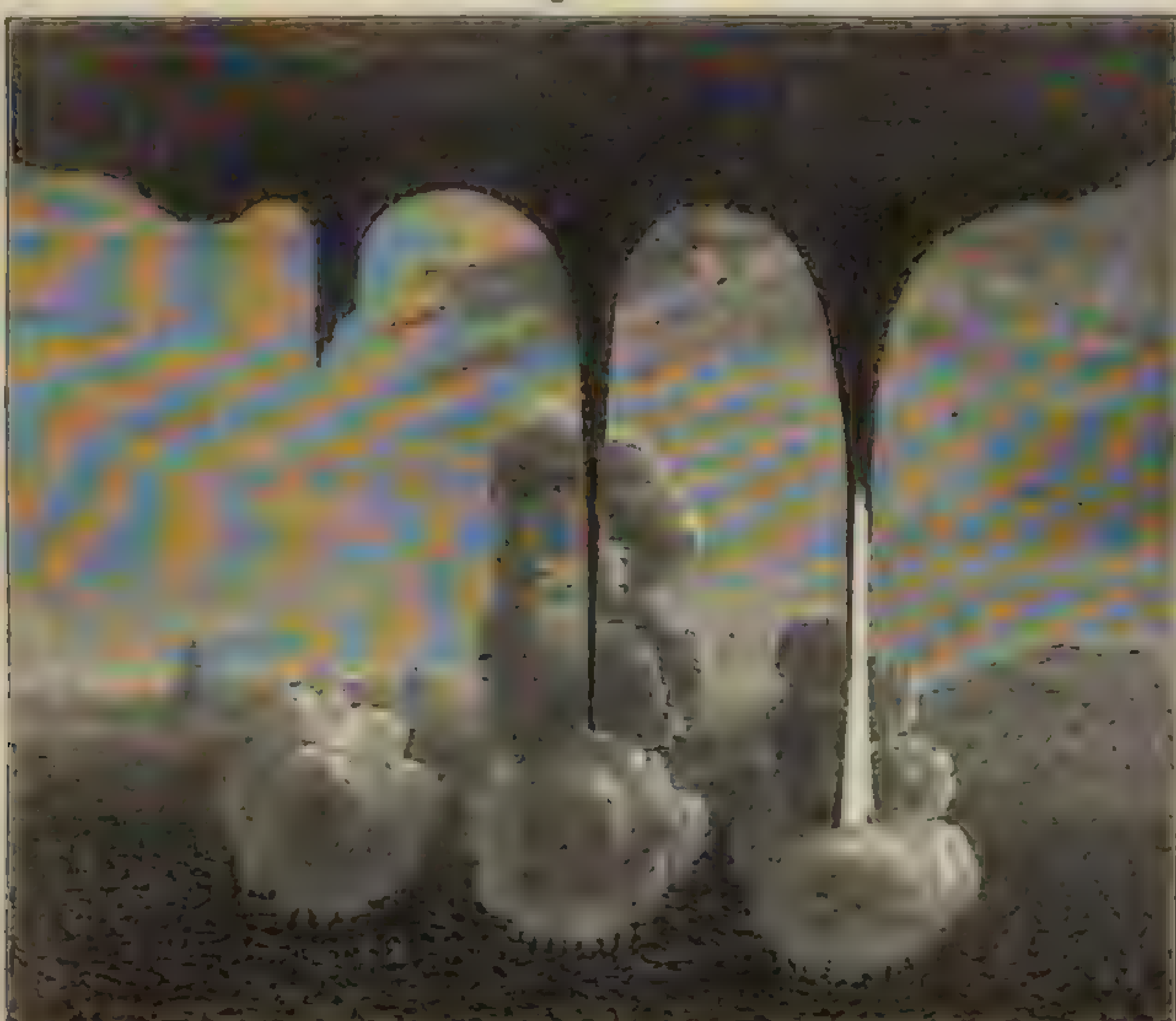
Die wirbelnde Bewegung leitet Dove daraus ab, daß eine durch irgend einen Impuls von dem Aequator nach einem Pole, etwa dem Nordpole, hingetriebene Luftmasse gegen ruhende Luft gleichsam anstößt.

Die Dove'sche Theorie stimmt, wie wir gesehen haben, sehr gut mit der Erscheinung überein, doch läßt sich nicht leugnen, daß sie wenigstens in ihrer jetzigen Form noch Manches im Dunkel läßt. So spricht sie sich über die Ursache dieser großen Aufregung der Atmosphäre gar nicht aus, man sieht auch nicht recht klar ein, in welchem Zusammenhange die Wirbel mit der außerordentlichen Verminderung des Luftdrucks stehen, d. h. man begreift nicht recht, wie es kommt, daß, wenn eine Luftmasse durch irgend einen Impuls vom Aequator nach den Polen hin in Bewegung gesetzt wird und gegen eine ruhende Luftmasse stößt, eine so starke Verminderung des Luftdrucks stattfinden kann.

In den Tropen wüthen die Stürme ungleich heftiger als in höheren Breiten; die Zerstörungen der Orkane, welche man in Amerika mit dem Namen der **Tornados** bezeichnet, sind wahrhaft fürchterlich. So wurden z. B. durch den Sturm, welcher am 26. Juli 1825 Guadeloupe verwüstete, solid gebaute Häuser umgerissen; Kanonen wurden bis zur Brüstung der Batterie, auf welcher sie standen, fortgeschleudert, ein Brett von ungefähr 3 Fuß Länge, 8 Zoll Breite und 10 Linien Dicke wurde mit solcher Geschwindigkeit durch die Luft gejagt, daß es den Stamm eines Palmbaumes, welcher ungefähr 17 Zoll im Durchmesser hatte, völlig durchbohrte.

Oft sieht man bei ruhigem Wetter, wie Sand und Staub durch den Wind in wirbelnder Bewegung fortgeführt werden. Bei herannahenden Gewittern sieht man schon größere Luftwirbel der Art, welche Staub, Blätter, Stroh &c. mit in die Höhe nehmen. Die **Tromben** sind nichts Anderes als solche Wirbel in größerem Maßstabe; sie werden in der Regel durch den Kampf zweier in den oberen Luftregionen in entgegengesetzter Richtung wehender Winde erzeugt. Sie bilden gewöhnlich einen Doppelkegel; der obere Theil desselben, dessen Spitze herabgesenkt ist, besteht aus einer Wolkenmasse, während der untere Kegel, dessen Spitze nach oben gerichtet ist, aus Wasser besteht, wenn das Meteor auf dem Meere oder über Seen und Flüssen sich bildet, oder aus Sand und sonstigen festen Körpern, wenn die Trombe über das

Fig. 564.



Land herzieht. Solche Tromben sind im Stande, Bäume zu entwurzeln, Häuser abzudecken, Balken mehrere hundert Schritte weit fortzuschleudern &c. Die Wassertromben sind unter dem Namen der **Wasserhosen** (Fig. 564) bekannt; sie heben das Wasser oft bis zu einer Höhe von vielen hundert Fußen.

Viertes Kapitel.

Von der atmosphärischen Feuchtigkeit.

234 **Verbreitung des Wasserdampfes in der Luft.** Wenn man an einem heißen Sommertage eine mit Wasser gefüllte Schale in's Freie stellt, so sieht man die Quantität des Wassers rasch abnehmen, es verdunstet, das heißt: es geht in Dampfgestalt über und verbreitet sich in der Luft. Der Wasserdampf ist wie jedes andere farblose durchsichtige Gas für unsere Blicke nicht wahrnehmbar, das Wasser scheint, indem es verdunstet, gänzlich verschwunden zu seyn.

Das in der Luft verbreitete Wasser wird erst wieder sichtbar, wenn es, in seinen flüssigen Zustand zurückkehrend, Nebel oder Wolken, Thau oder Reif bildet. Wenn man sich von der Existenz des Wasserdampfs in der Luft überzeugen will, muß man ihn auf irgend eine Weise verdichten.

Ganz unmittelbar erhält man die Menge des in einem bestimmten Volumen Luft enthaltenen Wasserdampfs, wenn man die Luft durch ein mit hygroskopischen Substanzen gefülltes Rohr saugt. Um ein regelmäßiges Durchstreichen der Luft durch das Absorptionsrohr zu bewirken, wendet man einen Aspirator an. Es ist dies im Wesentlichen ein bis auf zwei Oeffnungen verschlossenes mit Wasser gefülltes Gefäß; aus der einen Oeffnung fließt durch ein Rohr beständig Wasser ab, die andere Oeffnung ist mit dem Absorptionsrohre in Verbindung, so daß hier eine dem ausfließenden Wasser gleiche Menge getrockneter Luft eintritt. Wie viel Wasserdampf in der durch das Absorptionsrohr gesaugten Luftmenge enthalten war, ergiebt sich, wenn man dies Rohr vor und nach dem Versuche wägt.

Die Bestimmungsweise des Wassergehaltes der Luft mit dem Aspirator, dem man verschiedene, bald mehr, bald weniger zweckmäßige Formen gegeben hat, ist allerdings etwas umständlich und giebt auch nicht den Wassergehalt der Luft in einem bestimmten Momente, sondern den mittleren Wassergehalt während der ganzen Dauer des Versuches; man hat deshalb kleinere, leichter transportable Apparate construirt, welche unter dem Namen der Hygrometer bekannt sind.

Es ist bekannt, daß viele organische Körper die Eigenschaft haben, Wasserdampf zu absorbiren und sich dabei verhältnißmäßig zu verlängern. Unter anderen sind auch Haare, Fischbein u. s. w. solche hygroskopische Körper, und man benutzte sie deshalb zur Construction von Hygrometern. Das beste Instrument der Art ist das von Saussure angegebene Haarhygrometer, welches Fig. 565 abgebildet ist.

Das Haar *c* ist mit seinem oberen Ende im Zängelchen *a* befestigt, das andere Ende desselben aber ist um eine mit zwei Rinnen versehene Rolle geschlungen, während in der anderen Rinne um die Rolle ein Seidenfaden

geschlungen ist, woran ein kleines Gewicht p hängt, durch welches das Haar beständig gespannt erhalten wird. An der Axe der Rolle ist ein Zeiger befestigt, welcher auf einem Gradbogen hin und her geht, wenn die Rolle durch die Verlängerung oder Verkürzung des Haares gedreht wird.

Fig. 565.



Die Schraube am oberen Theile des Apparates dient, um die Spannung des Haares zu reguliren.

Wenn sich das Instrument in feuchter Luft befindet, so absorbirt das Haar viel Wasserdampf und wird dadurch länger, in trockener Luft aber verkürzt es sich, wodurch natürlich der Zeiger bald nach der einen, bald nach der anderen Seite gedreht wird.

Die Graduirung des Instruments wird auf folgende Weise bewerkstelligt. Zuerst bringt man das Instrument unter eine Glocke, deren innerer Raum durch Chlorcalcium oder durch Schwefelsäure ausgetrocknet wird. Die Stelle der Scala, auf welcher sich der Zeiger unter diesen Verhältnissen feststellt, ist der Punkt der größten Trockenheit; er wird mit 0 bezeichnet.

Nun bringt man das Instrument unter eine Glocke, deren Wände mit destillirtem Wasser befeuchtet sind, während auch auf dem Boden, auf welchem die Glocke steht, destillirtes Wasser ausgebreitet ist. Der Raum unter der Glocke sättigt sich bald mit Wasserdampf, und der Zeiger geht nach dem anderen Ende der Scala hin. Der Punkt, wo er sich jetzt feststellt, ist der Punkt der größten Feuchtigkeit; er wird mit 100 bezeichnet.

Der Zwischenraum zwischen diesen beiden Punkten wird in 100 gleiche Theile getheilt, welche man Feuchtigkeitsgrade nennt.

Das auf diese Weise graduirte Hygrometer giebt zwar die äußerste Trockenheit oder Feuchtigkeit der Luft an, es zeigt, ob sich die Luft dem Sättigungspunkte mehr oder weniger nähert, man kann aber aus den Hygrometergraden keinen directen Schluß auf die Spannkraft des Wasserdampfes in der Atmosphäre machen. Wie groß die jedem Hygrometergrade entsprechende Spannkraft des Wasserdampfes in der Luft ist, kann nur auf empirischem Wege ermittelt werden.

Gay-Lussac verfuhr folgendermaßen: Er bestimmte zunächst das Maximum der Spannkraft des Wasserdampfes, welcher sich bei einer Temperatur von 10° über verschiedenen Salzlösungen bilden kann. Alsdann brachte er sein Instrument bei derselben Temperatur der Reihe nach mit diesen Flüssigkeiten unter die Glocke und notirte jedesmal die Grade, bei welchen sich das Instrument einstellte. Die folgende Tabelle enthält die Resultate dieser Versuche.

Namen der Flüssigkeit.	Specifisches Gewicht bei 10° C.	Spannkraft des Dampfes, wenn man die Spannkraft des Wasserdampfes bei 10° mit 100 bezeichnet.	Grade des Haarhygrometers, bei welchen sich der Zeiger für die verschiedenen Flüssigkeiten einstellte.
Wasser	1,000	100,0	100,0
Lösung von salzsaurem Natron . .	1,096	90,6	97,7
desgl.	1,163	82,3	92,2
desgl.	1,205	75,9	87,4
Salzsaurer Kalk	1,274	66,0	82,0
desgl.	1,343	50,5	71,0
desgl.	1,397	37,6	61,3
Schwefelsäure	1,493	18,1	33,1
desgl.	1,541	12,2	25,3
desgl.	1,702	2,4	6,1
desgl.	1,848	0	0

Er fand also z. B., daß bei 10° die Dämpfe einer Auflösung von Chlorcalcium, deren specifisches Gewicht 1,274 ist, 66 Procent von der Spannkraft der Wasserdämpfe sind, welche bei derselben Temperatur über reinem Wasser sich bilden; wenn aber das Hygrometer unter eine Glocke gebracht wird, deren Wände mit dieser Lösung befeuchtet sind, so stellt es sich auf 82 Grad; man kann daraus den Schluß ziehen, daß der Theilstrich 82 des Hygrometers einen Feuchtigkeitsgehalt der Luft anzeigt, welcher 66 Procent des zur Sättigung nöthigen beträgt. Nach diesen Beobachtungen hat Gay-Lussac durch Interpolation eine Tabelle berechnet, welche den jedem einzelnen Hygrometergrade entsprechenden Feuchtigkeitsgehalt der Luft angiebt. Wir geben hier diese Tabelle nur von 10 zu 10 Grad.

Hygrometergrade.	Entsprechende Feuchtigkeit der Luft.
0	0
10	4,57
20	9,45
30	14,78
40	20,78
50	27,79
60	36,28
70	47,19
80	61,22
90	79,09
100	100,00

Wenn also das Hygrometer auf 60° steht, so enthält die Luft 36,28 Procent desjenigen Wasserdampfes, welchen sie enthalten müßte, um gesättigt zu seyn.

Diese Tabelle ist jedoch nur für Temperaturen ganz zulässig, welche nicht viel von 10° verschieden sind.

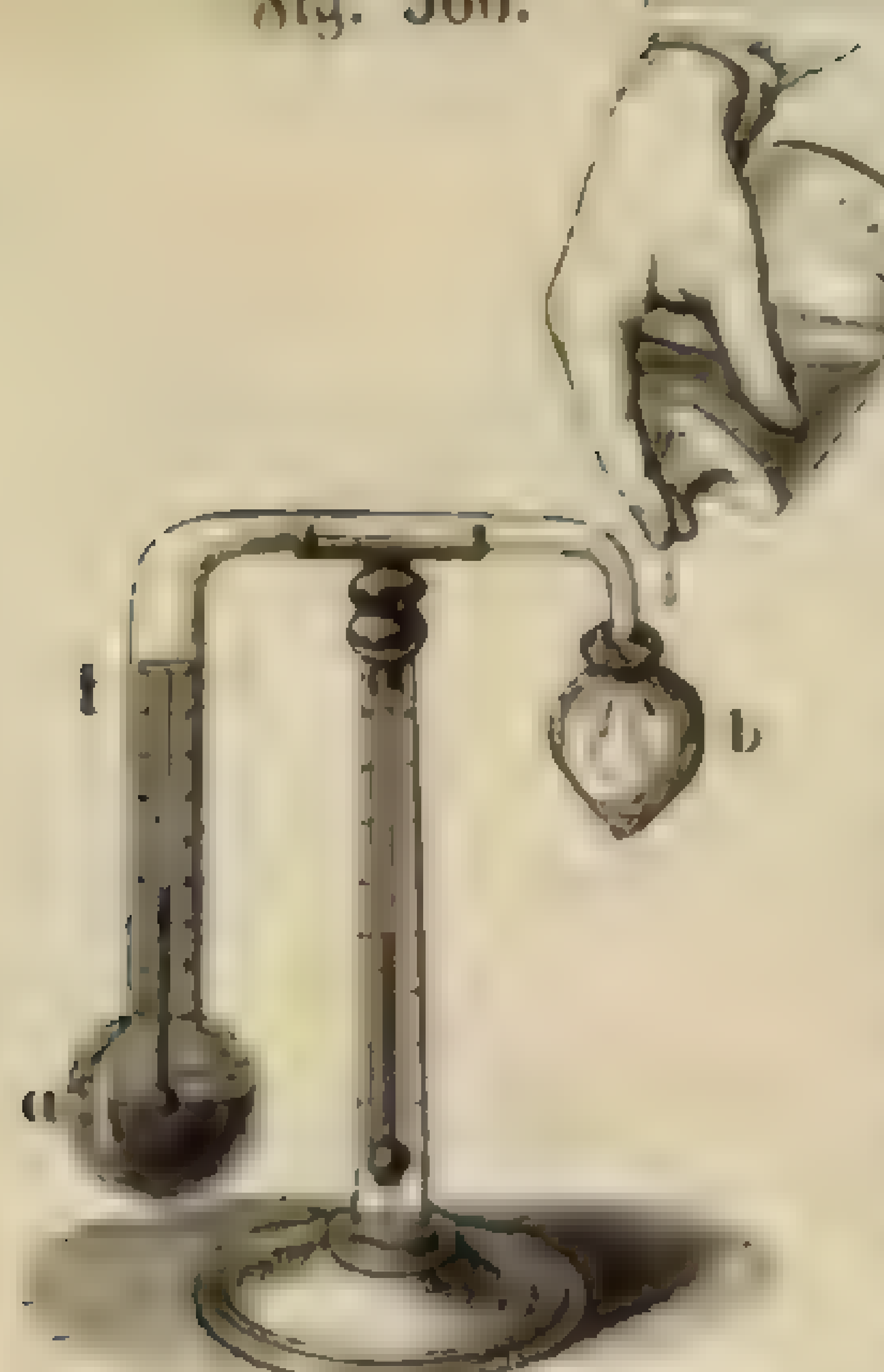
Regnault hat neuerdings auch Untersuchungen über das Haarhygrometer angestellt. Er fand es zweckmäßiger, die Haare mit Aether zu entfetten, statt sie in einer Sodalösung zu kochen, wie es Saussure angegeben hatte.

Er fand, daß Hygrometer, mit einerlei Art von Haaren construirt, welche auf gleiche Weise entfettet wurden, zwar nicht streng übereinstimmend gehen, daß sie aber für die meisten Beobachtungen als vergleichbar betrachtet werden können; daß dagegen Hygrometer mit Haaren von verschiedener Natur und verschiedener Zubereitung sehr große Unterschiede in ihren Angaben zeigen können, selbst wenn sie an den Endpunkten mit einander stimmen.

Daraus geht klar hervor, daß man nicht eine für alle Haarhygrometer gültige Tabelle berechnen könne, sondern daß man eigentlich für jedes Instrument der Art Versuche in obiger Weise anstellen und aus diesen eine Tabelle berechnen müsse.

Daniel's Hygrometer ist Fig. 566 (a. f. S.) dargestellt; es besteht aus 235
einer gekrümmten Röhre, welche mit zwei Kugeln endigt; die eine, *a*, ist entweder vergoldet oder mit einer ganz dünnen glänzenden Platinschicht überzogen, die andere ist mit einem Läppchen feiner Leinwand umwickelt. Die Kugel *a* ist zur Hälfte mit Aether gefüllt und enthält ein kleines Thermometer, dessen Theilung in die Röhre *t* hineinragt. Der Apparat ist vollkommen luftleer. Wenn man nun Aether auf die Kuppel *b* tröpfelt, so wird sie durch die Verdampfung des Aethers erkaltet, im Inneren derselben werden Aetherdämpfe

Fig. 566.



condensirt und dadurch eine Verdampfung des Aethers in der Kugel *a* bewirkt, indem gewissermaßen der Aether aus der wärmeren Kugel *a* in die kältere *b* überdestillirt. Bei der Dampfbildung in der Kugel *a* wird aber ebenfalls Wärme gebunden und sie beschlägt sich endlich mit einem zarten Thau.

Die Entstehung dieses Thaues läßt sich leicht erklären. Wir haben schon oben gesehen, daß im leeren Raume die Spannkraft des Wasserdampfes für eine bestimmte Temperatur eine gewisse Gränze nicht übersteigen kann, daß das Maximum der Spannkraft mit der Temperatur steigt. Für eine Temperatur von 20° z. B. ist das Maximum der Spannkraft des Wasserdampfes 17,3 Millimeter (Theil II. S. 503), und die entsprechende Dichtigkeit des Wasserdampfes 0,00001718; in einem luftleeren Raume von 1 Cubikmeter können also bei einer Temperatur von 20° höchstens 17,18 Gramm Wasser in Form von Dampf enthalten seyn.

Wir haben aber ferner gesehen, daß in einem lufterfüllten Raume gerade ebensoviel Wasserdampf enthalten seyn kann als in einem gleich großen luftleeren Raume, und daß sich in diesem Falle die Spannkraft der Luft und die Spannkraft des in ihr verbreiteten Wasserdampfes summiren. Bei einer Temperatur von 20° können also in einem Cubikmeter Luft ebenfalls 17,18 Gramm Wasser als Dampf enthalten seyn.

Man sagt, die Luft sey mit Wasserdampf gesättigt, wenn der in ihr verbreitete Wasserdampf das ihrer Temperatur entsprechende Maximum der Spannkraft und Dichtigkeit erreicht hat.

Bringt man in eine mit Feuchtigkeit gesättigte Luft einen kälteren Körper, so wird dieser die nächsten Luftschichten erkalten, ein Theil des in ihnen enthaltenen Wasserdampfes wird sich verdichten müssen und setzt sich in Form von feinen Tröpfchen an den kalten Körper an. Auf diese Weise bildet sich der Beschlag an den Fensterscheiben in einem bewohnten erwärmten Zimmer, wenn die Temperatur der äußeren Luft niedrig genug ist, um die Fensterscheiben hinlänglich zu erkalten.

Nicht immer ist die Luft mit Feuchtigkeit gesättigt, d. h. es ist nicht immer in derselben gerade soviel Wasserdampf enthalten, als sie bei ihrer Temperatur aufnehmen könnte. Nehmen wir z. B. an, jedes Cubikmeter Luft enthielte bei einer Temperatur von 20° nur 13,63 Gramm Wasserdampf, so ist sie nicht gesättigt; denn bei dieser Temperatur könnte ja jedes Kubikmeter Luft 17,18 Gramm Wasserdampf enthalten. Aus der angeführten Tabelle auf Seite 503 ersieht man aber, daß die Dichtigkeit des gesättigten Wasserdampfes bei 16° gleich 0,00001363 ist; für eine Temperatur von 16° wäre also die Luft gesättigt. Man müßte also die Luft bis unter 16° erkalten, wenn eine Verdichtung von Wasserdampf stattfinden sollte.

Die Temperatur, für welche eben die Verdichtung des Wasserdampfes beginnt, die Temperatur also, für welche die Luft gerade mit Wasserdampf gesättigt ist, heißt der **Thaupunkt**.

Der Thaupunkt ist es nun, welchen man am **Daniel**'schen Hygrometer beobachtet; sobald nämlich die Kugel *a* bis zur Temperatur des Thaupunktes erkaltet ist, fängt diese Kugel an sich zu beschlagen; die Temperatur des Thaupunktes liest man unmittelbar an dem in die Kugel *a* hineinragenden Thermometer ab.

Die folgende Tabelle giebt den Wassergehalt der mit Dampf gesättigten Luft für den Thaupunkt von — 20° bis + 40° an.

Temperatur des Thaupunktes.	Entsprechende Spannkraft des Wasserdampfes.	Gewicht des Wasserdampfes in 1 Cubikmeter Luft.	Temperatur des Thaupunktes.	Entsprechende Spannkraft des Wasserdampfes.	Gewicht des Wasserdampfes in 1 Cubikmeter Luft.
	mm	gr		mm	gr
— 20°	1,3	1,5	19°	16,3	16,2
— 15	1,9	2,1	20	17,3	17,1
— 10	2,6	2,9	21	18,3	18,1
— 5	3,7	4,0	22	19,4	19,1
0	5,0	5,4	23	20,6	20,2
1	5,4	5,7	24	21,8	21,3
2	5,7	6,1	25	23,1	22,5
3	6,1	6,5	26	24,4	23,8
4	6,5	6,9	27	25,9	25,1
5	6,9	7,3	28	27,4	26,4
6	7,4	7,7	29	29,0	27,9
7	7,9	8,2	30	30,6	29,4
8	8,4	8,7	31	32,4	31,0
9	8,9	9,2	32	34,3	32,6
10	9,5	9,7	33	36,2	34,3
11	10,1	10,3	34	38,3	36,2
12	10,7	10,9	35	40,4	38,1
13	11,4	11,6	36	42,7	40,2
14	12,1	12,2	37	45,0	42,2
15	12,8	13,0	38	47,6	44,4
16	13,6	13,7	39	50,1	46,7
17	14,5	14,5	40	53,0	49,2
18	15,4	15,3			

Wenn uns das Hygrometer für den Thaupunkt 12° angiebt, so ersehen wir aus dieser Tabelle, daß jedes Cubikmeter Luft 10.7 Gramm Wasserdampf enthält; wäre der Thaupunkt 17°, so enthielte jedes Cubikmeter Luft 14,5 Gramm Wasserdampf u. s. w.

Gegen die Genauigkeit der Angaben des Daniel'schen Hygrometers lassen sich mit Recht folgende Einwendungen machen. Der Aether in der Kugel *a* ist an der Oberfläche kälter als an den tieferen Stellen; die Handhabung des Apparates erfordert eine längere Anwesenheit des Beobachters in der Nähe desselben, wodurch sowohl die Temperatur als auch der Feuchtigkeitsgehalt der Luft modificirt wird; die Menge des Aethers, welcher auf der Kugel *b* verdampft, äußert ebenfalls einen Einfluß auf den hygrometrischen Zustand der Luft, welcher noch dadurch verschlimmert wird, daß der käufliche Aether immer nicht ganz wasserfrei ist.

Schon lange hat Döbereiner auf die Schwierigkeit aufmerksam gemacht, mit dem Daniel'schen Hygrometer genaue Resultate zu erhalten; er construirte ein anderes auf demselben Principe beruhendes Instrument, welches jedoch nicht so beachtet worden zu seyn scheint, wie es verdient.

Vor Kurzem hat Regnault ein Instrument angegeben, welches als eine Vervollkommnung des oben erwähnten Döbereiner'schen angesehen werden kann. Am unteren Ende der Glasröhre *A*, Fig. 567, ist ein fingerhutartiges Gefäß von dünnem polirten Silberblech befestigt, welches ungefähr 20mm Durchmesser hat und 45mm hoch ist. Oben ist die Glasröhre *A* mit einem Kork verschlossen, welcher drei Löcher hat. Durch das eine derselben geht die Röhre *B* hindurch, welche fast bis auf den Boden des Silbergefäßes reicht; durch die zweite Oeffnung geht die Röhre eines Thermometers, dessen Gefäß sich ungefähr in der Mitte des Silbergefäßes befindet. Ein kurzes Glasröhrchen, welches nur eben bis unter den Kork reicht, steckt in der drit-

Fig. 567.



ten Oeffnung. Von diesem Röhrchen führt ein Gummischlauch zu dem mit Wasser gefüllten Aspirator *D*.

Das silberne Gefäß und die Glasröhre *A* sind ungefähr so weit mit Aether gefüllt, wie die Figur zeigt. Wird nun der Hahn des Aspirators geöffnet, so fließt hier das Wasser aus, in gleichem Maaße aber muß Luft durch das Rohr *B* einströmen, welche durch den Aether in *A* in Form von Bläschen aufsteigt, und dadurch eine rasche Verdunstung desselben bewirkt, in Folge deren das Silbergefäß von außen beschlägt.

Die Temperatur des Thaupunktes wird am Thermometer *t*, die der umgebenden Luft am Thermometer *t'* abgelesen.

Der Beobachter steht am Aspirator *D* und beobachtet das Silbergefäß und die Thermometer durch ein Fernrohr.

Wenn das Silbergefäß die Temperatur des Thaupunktes erreicht hat, so reicht die geringste Verzögerung des Wasserausflusses hin, um den Beschlag verschwinden zu machen, während eine Beschleunigung des Ausflusses ihn vermehrt.

Das Döbereiner'sche Instrument unterscheidet sich von dem Regnault'schen im Wesentlichen nur dadurch, daß die Luft mittelst einer Druckpumpe durch den Aether des Silbergefäßes hindurch getrieben wird.

August's Psychrometer ist Fig. 568 dargestellt; es besteht aus 236
zwei an einem und demselben Gestelle befestigten Thermometern; die Kugel des einen ist mit einem feinen Leinwandläppchen umgeben, während die Kugel des anderen frei bleibt; wenn man die Hülle der einen Thermometerkugel mit Wasser befeuchtet, so wird das Wasser verdunsten, und zwar wird die Verdunstung um so rascher vor sich gehen, je weiter die Luft von ihrem Sättigungspunkte entfernt ist. Die Verdunstung des Wassers ist aber von einer Wärmebindung begleitet, in Folge deren das umwickelte Thermometer sinkt. Wenn die Luft vollkommen mit Feuchtigkeit gesättigt ist, so wird kein Wasser verdampfen können, die beiden Thermometer stehen alsdann gleich hoch; ist aber die Luft nicht mit Wasserdampf gesättigt, so wird das umwickelte Thermometer sinken, und zwar um so tiefer, je weiter die Luft von ihrem Sättigungspunkte entfernt ist. Aus der Temperaturdifferenz der beiden Thermometer kann man auf den Feuchtigkeitszustand der Luft schließen.

Fig. 568.



Wenn ein hinreichend starker Luftzug stattfindet, so wird sich die an der nassen Thermometerkugel vorbeistreichende Luft mit Wasserdampf sättigen, sie wird aber einen Theil ihrer Wärme zur Dampfbildung abgeben; das nasse Thermometer zeigt die Temperatur an, bis zu welcher die Luft an dieser Kugel erkaltet und für welche sie sich mit Wasserdampf

sättigt. Nehmen wir an, das nasse Thermometer zeigt 16 Grad, so sehen wir daraus, daß die Luft, welche an der umwickelten Kugel vorbeistreicht, auf 16° erkaltet wird, und daß sie dieselbe für diese Temperatur gesättigt verläßt. Wäre die ganze Luftmasse für die Temperatur von 16° mit Wasserdampf gesättigt, so würde jedes Cubikmeter Luft 13,7 Gramm Wasserdampf enthalten; so viel Wasserdampf enthält sie aber in der That nicht, denn sie nimmt ja an der nassen Kugel, bis zu 16° erkaltet, noch Wasserdampf auf; der Feuchtigkeitszustand der Atmosphäre ist also von der Art, daß jedes Cubikmeter Luft weniger als 13,7 Gramm Wasserdampf enthält.

Die Menge des Wasserdampfes, welche die Luft aufnimmt, indem sie an der nassen Kugel vorbeistreicht, hängt von der Wärmequantität ab, welche sie zur Dampfbildung abgiebt; diese Wärmequantität ist aber um so bedeutender, je stärker sie erkaltet wird, sie ist der Temperaturdifferenz der beiden Thermometer proportional, und auch die Menge des Wasserdampfes, welchen die Luft aufnimmt, wenn sie am nassen Thermometer vorbeistreicht, können wir ohne merklichen Fehler dieser Temperaturdifferenz proportional setzen. Bezeichnen wir diese Temperaturdifferenz mit d, so können wir die Quantität des Wasserdampfes, welchen ein Cubikmeter der nach und nach an der nassen Kugel vorbeistreichenden Luft aufnimmt, mit $c\,d$ bezeichnen.

Bezeichnen wir ferner mit M das Maximum des Wasserdampfes, welchen ein Cubikmeter Luft bei der Temperatur des nassen Thermometers enthalten kann, die Quantität des Wasserdampfes also, welchen die Luft wirklich enthält, welche am nassen Thermometer vorbeigestrichen ist, so besteht diese Quantität M aus zwei Theilen, der Quantität cd nämlich, welche sie an der Kugel aufgenommen hat, und der Quantität X, welche sie schon enthielt; es ist also

$$M = X + cd$$

oder

$$X = M - cd.$$

In dieser Formel bezeichnet, wie erwähnt, X den Wassergehalt der Luft, d die Temperaturdifferenz der beiden Thermometer, M den Wassergehalt der Luft, wenn sie für die Temperatur des nassen Thermometers gesättigt wäre, und c einen constanten Factor, welcher durch Versuche ermittelt werden muß.

Durch vergleichende Versuche mit dem Psychrometer und dem Daniel'schen Hygrometer ergiebt sich

$$c = 0{,}65.$$

Um nicht für jede Beobachtung erst den Wassergehalt der Luft berechnen zu müssen, hat man Tabellen berechnet, in welchen man, wie in der folgenden, für jede Lufttemperatur und jede beobachtete Differenz der beiden Thermometer den Wassergehalt der Luft gleich aufsuchen kann.

Temperatur der Luft.	Differenz des trockenen und befeuchteten Thermometers.												
Grade nach Celsius.	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
— 20	1,5	0,8	0,1										
— 19	1,6	0,9	0,2										
— 18	1,8	1,0	0,3										
— 17	1,9	1,1	0,4										
— 16	2,0	1,2	0,5										
— 15	2,1	1,4	0,6										
— 14	2,3	1,5	0,8										
— 13	2,4	1,6	0,9	0,1									
— 12	2,6	1,8	1,0	0,3									
— 11	2,7	2,0	1,2	0,4									
— 10	2,9	2,1	1,3	0,6									
— 9	3,1	2,3	1,5	0,7									
— 8	3,3	2,5	1,7	0,9	0,1								
— 7	3,5	2,7	1,9	1,1	0,3								
— 6	3,7	2,9	2,1	1,3	0,5								
— 5	4,0	3,1	2,3	1,5	0,7								
— 4	4,2	3,4	2,5	1,7	0,9	0,1							
— 3	4,5	3,6	2,8	1,9	1,1	0,3							
— 2	4,8	3,9	3,0	2,2	1,4	0,5							
— 1	5,1	4,2	3,3	2,4	1,6	0,8							
0	5,4	4,5	3,6	2,7	1,9	1,0	0,2						
+ 1	5,7	4,7	3,8	2,9	2,1	1,2	0,4						
+ 2	6,1	5,1	4,1	3,2	2,3	1,4	0,5						
+ 3	6,5	5,4	4,4	3,4	2,5	1,6	0,7						
+ 4	6,9	5,8	4,8	3,7	2,7	1,8	1,0						
+ 5	7,3	6,2	5,1	4,1	3,1	2,1	1,2	0,3					
+ 6	7,7	6,6	5,5	4,5	3,4	2,4	1,4	0,5					
+ 7	8,2	7,0	5,9	4,9	3,8	2,8	1,8	0,8					
+ 8	8,7	7,5	6,4	5,3	4,2	3,2	2,1	1,1	0,2				
+ 9	9,2	8,0	6,9	5,7	4,6	3,6	2,5	1,5	0,5				
+ 10	9,7	8,5	7,3	6,2	5,1	4,0	2,9	1,9	0,9				
+ 11	10,3	9,1	7,9	6,7	5,6	4,4	3,3	2,3	1,2	0,2			
+ 12	10,9	9,7	8,4	7,2	6,0	4,9	3,8	2,7	1,7	0,6			
+ 13	11,6	10,3	9,0	7,8	6,6	5,4	4,3	3,1	2,1	1,0			
+ 14	12,2	10,9	9,6	8,3	7,1	5,9	4,8	3,6	2,5	1,4	0,4		
+ 15	13,0	11,6	10,3	9,0	7,7	6,5	5,3	4,1	3,0	1,9	0,8		
+ 16	13,7	12,3	10,9	9,6	8,3	7,0	5,8	4,6	3,5	2,4	1,3	0,2	
+ 17	14,5	13,1	11,6	10,3	9,0	7,7	6,4	5,2	4,0	2,9	1,7	0,7	
+ 18	15,3	13,8	12,4	11,0	9,6	8,3	7,0	5,8	4,6	3,4	2,2	1,1	
+ 19	16,2	14,7	13,2	11,7	10,3	9,0	7,7	6,4	5,1	3,9	2,8	1,6	
+ 20	17,1	15,5	14,0	12,5	11,1	9,7	8,3	7,0	5,8	4,5	3,3	2,2	
+ 21	18,1	16,5	14,9	13,4	11,9	10,5	9,1	7,7	6,4	5,1	3,9	2,7	
+ 22	19,1	17,4	15,8	14,2	12,7	11,2	9,8	8,4	7,1	5,8	4,5	3,3	
+ 23	20,2	18,5	16,8	15,2	13,6	12,1	10,6	9,2	7,8	6,4	5,2	3,9	2,5
+ 24	21,3	19,5	17,8	16,1	14,5	12,9	11,4	10,0	8,5	7,2	5,8	4,5	3,1
+ 25	22,5	20,6	18,9	17,1	15,5	13,8	12,3	10,8	9,3	7,9	6,5	5,2	3,9
+ 26	23,8	21,8	20,0	18,2	16,5	14,8	13,2	11,6	10,1	8,7	7,3	5,9	4,6
+ 27	25,1	23,1	21,2	19,3	17,5	15,8	14,2	12,6	11,0	9,5	8,1	6,7	5,3
+ 28	26,4	24,4	22,4	20,5	18,7	16,9	15,2	13,5	11,9	10,4	8,9	7,5	6,1
+ 29	27,9	25,8	23,7	21,7	19,8	18,0	16,3	14,6	12,9	11,3	9,8	8,3	6,8
+ 30	29,4	27,2	25,1	23,0	21,1	19,2	17,4	15,6	13,9	12,3	10,7	9,1	7,7
+ 31	31,0	28,7	26,5	24,4	22,4	20,4	18,5	16,7	15,0	13,3	11,6	10,1	8,5
+ 32	32,6	30,3	28,0	25,8	23,8	21,7	19,8	17,9	16,1	14,3	12,7	11,0	9,4
+ 33	34,4	31,9	29,6	27,3	25,2	23,1	21,1	19,1	17,3	15,4	13,7	12,0	10,4
+ 34	36,2	33,7	31,2	28,9	26,7	24,5	22,4	20,4	18,5	16,6	14,8	13,1	11,4
+ 35	38,1	35,5	33,0	30,6	28,2	26,0	23,8	21,8	19,8	17,8	16,0	14,2	12,5

Man findet in dieser Tabelle den Wassergehalt eines Cubikmeters Luft, in Grammen ausgedrückt, für die jedesmalige Lufttemperatur und die gleichzeitig beobachtete Differenz der beiden Thermometer, wenn man in der Horizontalreihe, deren äußerste Ziffer links die Lufttemperatur angiebt, bis zu der Verticalreihe herübergeht, welche mit der beobachteten Differenz der beiden Thermometer überschrieben ist. So findet man z. B. für eine Lufttemperatur von 20°, wenn das nasse Thermometer auf 16° steht, wenn also die Temperaturdifferenz der beiden Thermometer 4° ist, den Wassergehalt der Luft gleich 11,1, d. h. in diesem Falle enthält jedes Cubikcentimeter Luft 11,1 Gramm Wasserdampf.

Regnault hat durch zahlreiche Versuche nachgewiesen, daß die Temperaturdifferenz der beiden Thermometer wesentlich von der Stärke des Luftzuges abhängt, daß das feuchte Thermometer in einem geschlossenen Raume nicht so tief sinkt, als wenn es dem Luftzuge ausgesetzt ist. Ebenso fand er, daß bei niedriger Temperatur und sehr feuchter Luft die aus den Angaben des Psychrometers berechneten Werthe des Wassergehaltes bedeutend von den mittelst des Aspirators gefundenen abweichen; die in der Tabelle auf der vorigen Seite angegebenen Werthe des Wassergehaltes der Luft sind also wohl nur bei mittleren und höheren Temperaturen und nicht gar zu feuchter Luft als ziemlich genau zu nehmen.

237 **Tägliche Variationen im Wassergehalte der Luft.** Da bei hoher Temperatur mehr Wasserdampf in der Luft verbreitet seyn kann, da mit steigender Wärme das Wasser an der Oberfläche der Gewässer und vom feuchten Boden mehr und mehr verdunstet, so läßt sich wohl erwarten, daß der Wassergehalt der Luft im Laufe eines Tages ab- und zunehmen wird. Die Gesetze der täglichen Variationen des Wassergehaltes der Atmosphäre sind besonders durch lange Versuchsreihen von Neuber in Apenrade, von Kupffer in Petersburg und von Kämtz in Halle und auf den Alpen ermittelt worden.

Die folgende Tabelle giebt die mittlere Spannkraft für die einzelnen Stunden in den Monaten Januar, April, Juli und October an.

Stunden.	Januar.	April.	Juli.	October.
Mittag	4,29	6,15	11,62	8,27
1	4,32	6,05	11,42	8,29
2	4,34	6,08	11,32	8,23
3	4,33	6,09	11,22	8,15
4	4,28	6,09	11,18	8,10
5	4,25	6,09	11,25	8,06
6	4,24	6,12	11,36	8,10
7	4,22	6,15	11,68	8,07
8	4,20	6,13	11,76	7,96
9	4,18	6,10	11,75	7,88
10	4,15	6,05	11,67	7,80
11	4,14	6,03	11,52	7,72
Mitternacht	4,11	6,02	11,33	7,66
1	4,09	5,99	11,15	7,59
2	4,09	5,93	11,05	7,52
3	4,08	5,88	11,07	7,43
4	4,08	5,84	11,21	7,36
5	4,07	5,87	11,44	7,34
6	4,06	5,96	11,68	7,44
7	4,06	6,08	11,96	7,49
8	4,05	6,25	12,11	7,75
9	4,07	6,34	12,05	8,06
10	4,12	6,35	11,89	8,23
11	4,21	6,28	11,72	8,28
Mittel	4,17	6,08	11,52	7,87

Nach dieser Tabelle sind die Variationen des Wassergehaltes der Luft während eines Tages für den Monat Juli in Fig. 569 graphisch, und zwar in der unteren Curve, dargestellt. Die Abscissen sind der Zeit, die Ordinaten der Spannkraft des Wasserdampfes proportional aufgetragen. Man sieht, daß der Wassergehalt der Luft zwei Maxima, gegen 9 Uhr Abends und gegen 9 Uhr Morgens, und zwei Minima, um 4 Uhr Nachmittags und kurz vor Sonnenaufgang, hat.

Fig. 569.



Wenn mit Sonnenaufgang die Temperatur steigt, vermehrt sich auch die Menge des Wasserdampfes in der Luft, jedoch dauert dies nur bis 9 Uhr, wo ein durch die starke Erwärmung des Bodens veranlaßter aufwärtssteigender Luftstrom die Dämpfe mit in die Höhe nimmt, so daß der Wassergehalt der unteren Luftschichten geringer wird, obgleich bei immer zunehmender Wärme die Bildung der Dämpfe fortdauert; diese Abnahme dauert bis gegen 4 Uhr; nun nimmt der Wassergehalt der unteren Luftschichten wieder zu, weil nun die nach oben gerichtete Luftströmung aufhört, den sich bildenden

Wasserdampf wegzuführen; jedoch dauert diese Zunahme nur bis gegen 9 Uhr Abends, weil nun die immer mehr sinkende Temperatur der Luft der ferneren Dampfbildung eine Gränze setzt.

Im Winter, wo die Wirkung der Sonne weniger intensiv ist, verhält sich die Sache anders; im Januar beobachtet man nur ein Maximum des Wassergehaltes der Luft um 2 Uhr Nachmittags und ein Minimum zur Zeit des Sonnenaufgangs.

Die obere Curve der vorigen Figur zeigt uns das Maximum der Spannkraft, welches der Wasserdampf bei der jeder Stunde des Monats Juli entsprechenden mittleren Temperatur erreichen könnte. Da die beiden Curven für die Zeit des Sonnenaufgangs sich einander sehr nähern, so ist also um diese Zeit die Luft sehr nahe mit Feuchtigkeit gesättigt. Mit steigender Temperatur nimmt nun zwar anfangs die absolute Menge des Wasserdampfes in der Luft zu, doch nicht im Verhältniß der Temperaturzunahme, der Wassergehalt der Luft entfernt sich immer mehr von dem ihrer Temperatur entsprechenden Sättigungspunkte oder auch, mit anderen Worten, die Differenz zwischen der Temperatur der Luft und dem Thaupunkte wird immer größer.

Wir sagen, »die Luft ist trocken«, wenn das Wasser rasch verdunstet und wenn befeuchtete Gegenstände durch dieses rasche Verdunsten schnell trocken werden; dagegen sagen wir, »die Luft ist feucht«, wenn befeuchtete Gegenstände an der Luft nur langsam oder gar nicht trocknen, wenn die geringste Temperaturerniedrigung feuchte Niederschläge bewirkt, und wenn etwas kältere Gegenstände sich mit Feuchtigkeit überziehen. Wir nennen also die Luft trocken, wenn sie weit von ihrem Sättigungspunkte entfernt ist, feucht dagegen, wenn der Thaupunkt der Temperatur der Luft sehr nahe liegt; mit diesem Urtheile über die Trockenheit oder Feuchtigkeit der Luft verbinden wir also durchaus kein Urtheil über den absoluten Wassergehalt der Luft. Wenn an einem heißen Sommertage bei einer Temperatur von 25° C. jedes Cubikmeter Luft 13 Gramm Wasserdampf enthält, so sagen wir, die Luft sey sehr trocken; denn bei dieser Temperatur könnte jedes Cubikmeter Luft 22,5 Gramm Wasserdampf enthalten (siehe die Tabelle Seite 699), oder die Luft müßte bis auf 15° erkaltet werden, um bei unverändertem Wassergehalte gesättigt zu seyn. Wenn sie dagegen im Winter bei einer Temperatur von + 2° nur 6 Gramm Wasserdampf enthält, so ist die Luft sehr feucht, weil die Luft für die herrschende Temperatur beinahe vollständig mit Wasserdampf gesättigt ist und die geringste Temperaturerniedrigung schon einen Niederschlag zur Folge hat.

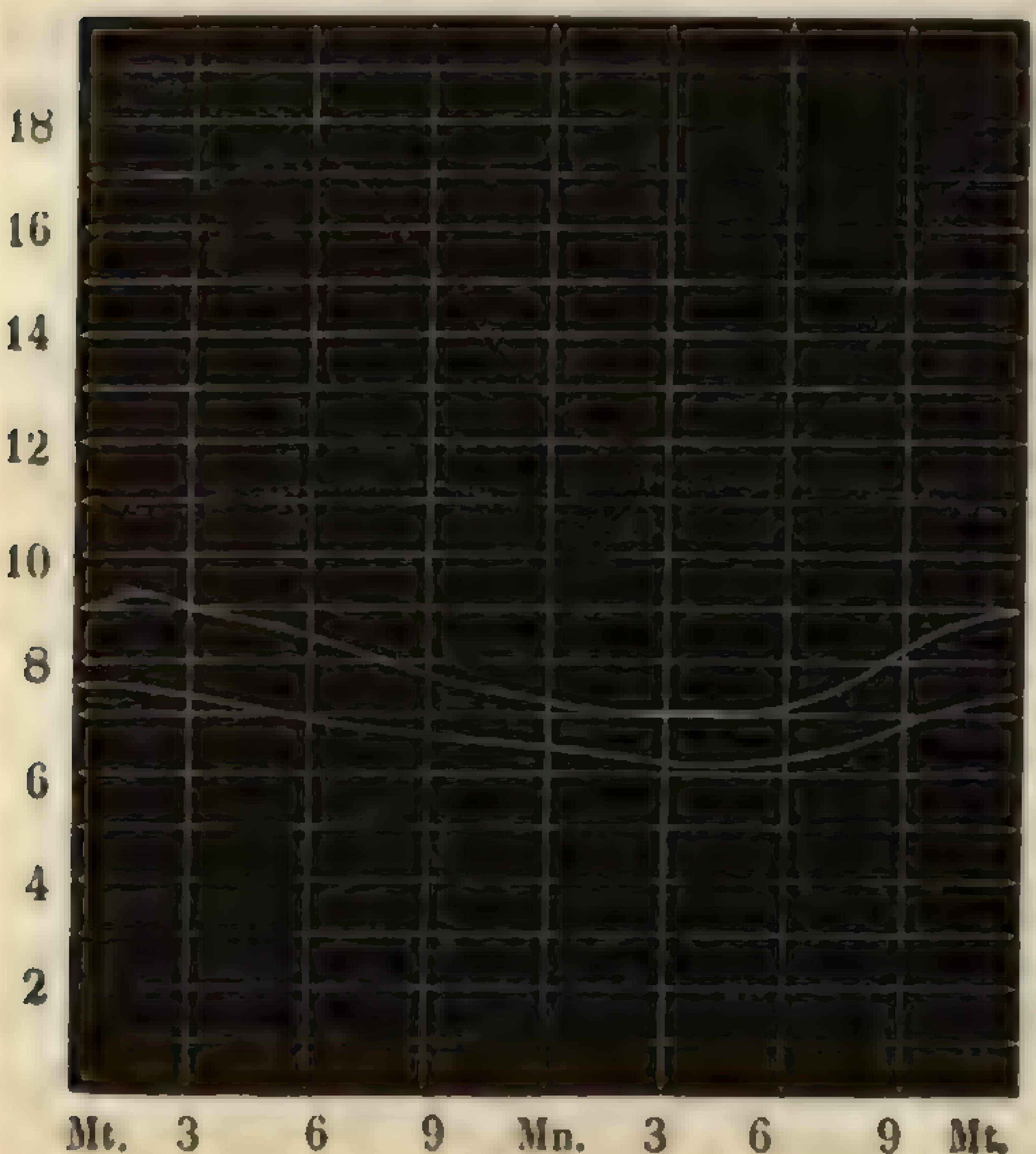
In diesem Sinne können wir also sagen, daß zur Zeit des Sonnenaufgangs die Luft am feuchtesten ist, obgleich der absolute Wassergehalt geringer ist als zu jeder anderen Tageszeit. Gegen drei Uhr Nachmittags ist im Sommer die Luft am trockensten.

Die Zeit der beiden Maxima und der beiden Minima des Wassergehaltes der Luft fällt nahe mit den Wendestunden der täglichen Periode des Barome-

ters zusammen, so daß man offenbar sieht, wie diese Perioden durch die Variationen des Wassergehaltes der Luft bedingt sind.

Auf hohen Bergen befolgen die Veränderungen im Dampfgehalte der Luft ein anderes Gesetz, weil der aufsteigende Luftstrom die Wasserdämpfe aus der Tiefe in die Höhe führt. Die unterste der beiden ausgezogenen Curven Fig. 570 stellt nach den Beobachtungen von Kämtz die Veränderungen dar, welche die Spannkraft des atmosphärischen Wasserdampfes im Laufe eines Tages auf dem Rigi erleidet, während die untere der beiden punktirten Curven die entsprechenden gleichzeitigen Veränderungen für Zürich darstellt. Zuerst sieht man bei der Betrachtung dieser Curven, daß in Zürich der Wassergehalt der Luft während 24 Stunden 2 Maxima und 2 Minima hat, während in der Höhe, wie bei den täglichen Variationen des Barometerstandes nur 1 Maximum und nur 1 Minimum stattfindet; auch in der Höhe nimmt der Wassergehalt der Luft von Sonnenaufgang an zu, diese Zunahme dauert aber bis Mittag, während in der Tiefe der Wassergehalt von 9 Uhr an schon wieder abnimmt, weil der aufsteigende Luftstrom, welcher die Abnahme des Wassergehaltes in der Tiefe veranlaßt, die dort weggeführten Dämpfe in die Höhe bringt. Von 3 Uhr Nachmittags an, wenn die Stärke des aufsteigenden Luftstromes nachläßt, nimmt der Wassergehalt in der Tiefe wieder zu, in der Höhe nimmt er aber fortwährend ab, weil bei stets abnehmender Temperatur kein Wasserdampf mehr in die Höhe gebracht wird, sondern umgekehrt die Wasserdämpfe sich in die Tiefe senken. Die obere der beiden punktirten und die obere der beiden ausgezogenen Curven geben an, wie groß zu jeder Stunde die Spannkraft des atmosphärischen Wasserdampfes in Millimetern ausgedrückt seyn würde, wenn die Luft stets vollkommen gesättigt wäre. In der Höhe ist dieser Beobachtungsreihe zufolge die Luft viel feuchter, d. h. sie ist ihrem Sättigungspunkte viel näher als in der Tiefe, denn die beiden Curven sind für den Rigi fast parallel und nicht weit von einander entfernt, während die beiden auf Zürich sich beziehenden Curven einen sehr ungleichen Lauf haben und für die Stunden vor und nach Mittag sehr weit von einander abstehen.

Fig. 570.



Man kann deshalb aber nicht allgemein den Satz aufstellen, daß die Luft in der Höhe feuchter sey, denn andere Beobachtungen ergeben das Gegentheil; so fanden z. B. Saussure auf den Alpen und Humboldt auf den südamerikanischen Gebirgen die Luft trockener als in der Tiefe. Bei heiterem Wetter scheint die Luft in der Höhe trockener zu seyn, bei trübem aber feuchter als unten, denn man sieht oft den Gipfel der Berge in Wolken gehüllt, während die unteren Luftschichten nicht mit Wasserdampf gesättigt sind.

237 **Jährliche Variationen des Wassergehaltes der Luft.** Die folgende Tabelle giebt den mittleren Wassergehalt der Luft für die einzelnen Monate des Jahres zu Halle.

Monate.	Spannkraft des Wasserdampfes.	Relative Feuchtigkeit
Januar . . .	4,599mm	85,0
Februar . . .	4,749	79,9
März	5,107	76,4
April	6,247	71,4
Mai	7,836	69,1
Juni	10,843	69,7
Juli	11,626	66,5
August . . .	10,701	66,1
September .	9,560	72,8
October . . .	7,868	78,9
November . .	5,644	85,3
December . .	5,599	86,2

Der absolute Wassergehalt der Luft ist wie die mittlere Lufttemperatur im Januar ein Minimum, er nimmt bis zum Juli zu, wo er sein Maximum erreicht, dann aber nimmt er wieder ab bis zu Ende des Jahres.

Die letzte Columne dieser Tabelle unter der Ueberschrift »Relative Feuchtigkeit« giebt an, wieviel Procente des bei der mittleren Temperatur des Monats *möglichen* Maximums des Wassergehaltes im Durchschnitt in der Luft enthalten sind. Im December ist also im Durchschnitt die Luft am feuchtesten, d. h. sie ist ihrem Sättigungspunkte am nächsten; im August aber ist die Luft am trockensten, obgleich ihr absoluter Wassergehalt in diesem Monate sehr groß ist, weil sie sehr weit von ihrem Sättigungspunkt entfernt ist. Im August ist der Wassergehalt der Luft im Durchschnitt nur 61 Procent von der Quantität Wasserdampf, welche in der Luft enthalten seyn müßte, wenn sie bei der mittleren Temperatur dieses Monats gesättigt seyn sollte. In diesem Sinne sind also November, December, Januar und Februar

die feuchtesten, Mai, Juni, Juli und August die trockensten Monate des Jahres.

Feuchtigkeit der Luft in verschiedenen Gegenden. Die Bildung 238
des Wasserdampfs ist vorzugsweise von zwei Bedingungen abhängig, nämlich von der Temperatur und von der Gegenwart von Wasser. Bei einem unbegränzten Wasservorrathe werden sich um so mehr Wasserdämpfe bilden, je höher die Temperatur ist; bei gleicher Temperatur aber werden sich in wasserreichen Gegenden mehr Dämpfe bilden können als in wasserarmen. Daraus folgt nun, daß der absolute Wassergehalt der Luft unter sonst gleichen Umständen von dem Aequator nach den Polen hin abnehmen muß und daß sie im Inneren der großen Continente trockener, d. h. weiter von ihrem Sättigungspunkte entfernt ist, als auf dem Meere und an den Meeresküsten. Wie sehr die Trockenheit der Luft mit der Entfernung vom Meere zunimmt, beweist schon die Heiterkeit des Himmels der Binnenländer. Die Hygrometerbeobachtungen, welche Humboldt und G. Rose in verschiedenen Gegenden von Sibirien gemacht haben, beweisen ebenfalls die außerordentliche Trockenheit der Atmosphäre in diesen Gegenden. In der Steppe von Platowskaya fanden sie, daß bei einer Temperatur von 23,7° die Differenz der beiden Thermometer des Psychrometers 11,7° betrug, während sie bei dem gewöhnlichen Zustande der Atmosphäre nur 5 bis 6° beträgt. Nehmen wir an, die Differenz der Thermometer hätte bei einer Temperatur von 24° nur 11° betragen, so würde nach der Tabelle auf Seite 703 jedes Cubikmeter Luft 4,5 Gramm Wasserdampf enthalten haben, eine Quantität, mit welcher die Luft erst bei — 3° gesättigt ist; da aber die Temperaturdifferenz noch bedeutend größer war, als wir eben näherungsweise angenommen hatten, so war der Wassergehalt der Luft noch geringer, der Thaupunkt also noch unter — 3°, die Luft hätte also um mehr als 27° erkaltet werden können, ohne daß ein Niederschlag von Feuchtigkeit erfolgt wäre.

Der Thau. Es ist oben, auf Seite 698, erklärt worden, wie der feine 239
Thau auf der glänzenden Kugel des Daniel'schen Hygrometers entsteht, wenn diese Kugel erkaltet wird. Ebenso erklärt sich die Thaubildung im Großen.

Wenn im Sommer nach Sonnenuntergang der Himmel heiter und die Luft ruhig bleibt, so werden die verschiedenen Gegenstände auf der Erdoberfläche durch die nächtliche Strahlung gegen den Himmelsraum mehr und mehr erkalten, ihre Temperatur sinkt um 2, 3, ja manchmal um 7 bis 8° unter die Temperatur der Luft herab, die kalten Körper erniedrigen auch die Temperatur der sie zunächst umgebenden Luftschichten; und wenn diese bis zum Thaupunkte erkaltet sind, so wird sich ein Theil des in ihnen enthaltenen Wasserdampfes in Form von feinen Tröpfchen an die kalten Körper ansetzen.

Da nicht alle Körper gleiches Wärmestrahlungsvermögen haben, so erkalten auch einige stärker als andere, und so kommt es, daß manche Körper stark mit Thau überzogen sind, während andere fast ganz trocken bleiben. Gras und Blätter erkalten besonders stark durch die nächtliche Strahlung, theils weil sie ein sehr starkes Strahlungsvermögen besitzen, theils aber auch, weil sie frei in

die Luft hineinragen, so daß vom Boden aus nur wenig Wärme zugeleitet werden kann; man findet sie deshalb stärker bethaut als die Steine und den nackten Boden.

Eine Wolkendecke, welche den Himmel überzieht, hindert die Thaubildung, weil sie die nächtliche Strahlung hindert. Auch wenn ein nur etwas lebhafter Wind weht, thaut es nicht, weil er beständig von Neuem warme Luft mit den festen Körpern in Berührung bringt, wodurch diesen fortwährend Wärme zugeführt wird und die Luft an ihnen vorbeistreicht, ehe sie bis zum Thaupunkte erkaltet werden kann.

Der Reif ist nichts Anderes als ein gefrorner Thau. Wenn der Körper, an welchem sich der condensirte Wasserdampf absetzt, unter 0° erkaltet ist, so kann er sich nicht mehr in flüssiger Gestalt, sondern in Form von Eisnadeln absetzen.

240 **Nebel und Wolken.** Wenn die Wasserdämpfe, aus einem Topf mit kochendem Wasser aufsteigend, sich in der kälteren Luft verbreiten, so werden sie alsbald verdichtet, es entsteht der Schwaden, welcher aus einer Menge kleiner hohler Wasserbläschen besteht, die in der Luft schweben. Man nennt diese Schwaden auch öfters Dampf, doch ist es kein eigentlicher Dampf mehr, wenigstens kein Dampf in physikalischem Sinne des Wortes, denn es ist ja ein verdichteter Dampf.

Wenn die Verdichtung der Wasserdämpfe nicht durch Berührung mit kalten festen Körpern, sondern durch die ganze Masse der Luft hindurch vor sich geht, so entstehen Nebel, welche im Großen dasselbe sind wie der Schwaden, den wir über kochendem Wasser sehen.

Die Nebel entstehen gewöhnlich, wenn das Wasser der Seen und Flüsse oder der feuchte Boden wärmer sind als die schon mit Feuchtigkeit gesättigte Luft. Die Dämpfe, welche in Folge der höheren Temperatur des Wassers oder des feuchten Bodens gebildet werden, verdichten sich alsbald wieder, wenn sie sich in der kälteren schon mit Wasserdämpfen gesättigten Luft verbreiten. Bei gleicher Temperaturdifferenz des Wassers und der Luft bilden sich keine Nebel, wenn die Luft trocken ist, so daß sich alle die Wasserdämpfe, welche vom Boden aufsteigen, in ihr verbreiten können, ohne sie zu sättigen.

Nach dem, was soeben über die Bildung des Nebels gesagt wurde, erklärt sich leicht, daß sich die Nebel vorzugsweise im Herbste über Flüssen und Seen und über feuchten Wiesen bilden. In England sind die Nebel besonders häufig, weil es von einem warmen Meere umspült ist; ebenso sind die warmen Gewässer des Golfstromes, welcher bis nach Neufoundland hinaufströmt, die Ursache der dort so häufigen dichten Nebel.

Manchmal beobachtet man Nebel unter scheinbar ganz verschiedenen Umständen; so sieht man dichte Nebel über den Flüssen, während die Luft wärmer ist als das Wasser oder das Eis. In diesem Falle ist die warme Luft mit Feuchtigkeit gesättigt, und wenn sie sich mit den Luftschichten mischt, welche durch die Berührung mit dem kalten Wasser oder dem Eise schon eine niedrigere Tempe-

ratur erlangt haben, so muß nothwendig eine Condensation des Wasserdampfes erfolgen.

Auf dieselbe Weise entstehen auch im Sommer nach Gewitterregen die Nebel über Flüssen und Seen. Die Luft ist wärmer als die Oberfläche des Wassers, aber sie ist mit Feuchtigkeit gesättigt, und sobald sie sich an Orte verbreitet, an welchen die Frische des Wassers fühlbar ist, wird durch die Erkaltung der Wasserdampf verdichtet.

Der Nebel bildet sich jedoch nicht allein über Flüssen und Seen, sondern auch mitten im Lande, sobald durch Luftströmungen wärmere feuchte Luftmassen mit kälteren gemischt und ihre Temperatur unter den Thaupunkt erniedrigt wird.

Die **Wolken** sind nichts Anderes als Nebel, welche in den höheren Luftregionen schweben, sowie denn Nebel nichts sind als Wolken, welche auf dem Boden aufliegen. Oft sieht man die Gipfel der Berge in Wolken eingehüllt, während die Wanderer auf diesen Bergspitzen sich mitten im Nebel befinden.

Auf den ersten Anblick scheint es unbegreiflich, wie die Wolken in der Luft schweben können, da sie doch aus Bläschen bestehen, welche offenbar schwerer sind als die umgebende Luft. Da das Gewicht dieser kleinen Wasserbläschen im Vergleich zu ihrer Oberfläche sehr gering ist, so muß die Luft ihrem Falle einen bedeutenden Widerstand entgegensetzen, sie können sich also nur sehr langsam herabsenken, wie ja auch eine Seifenblase, welche überhaupt mit unseren Dunstbläschen eine große Aehnlichkeit hat, in ruhiger Luft nur langsam fällt. Demnach müssen aber doch die Dunstbläschen, wenn auch noch so langsam, sinken, und man sollte demnach meinen, daß bei ruhigem Wetter die Wolken doch endlich bis auf den Boden herabkommen müßten.

Die bei ruhigem Wetter allerdings herabsinkenden Dunstbläschen können aber den Boden nicht erreichen, weil sie bald in wärmere, nicht mit Dämpfen gesättigte Luftschichten gelangen, in welchen sie sich wieder in Dampf auflösen und dem Blicke verschwinden; während sich aber unten die Dunstbläschen auflösen, werden an der oberen Gränze neue gebildet, und so scheint die Wolke unbeweglich in der Luft zu schweben.

Wir haben eben die Dunstbläschen in ganz ruhiger Luft betrachtet; in bewegter Luft werden sie der Richtung der Luftströmung folgen müssen. Ein Wind, welcher sich in horizontaler Richtung fortbewegt, wird die Wolken auch in horizontaler Richtung fortführen, und ein aufsteigender Luftstrom wird sie mit in die Höhe nehmen, sobald seine Geschwindigkeit größer ist als die Geschwindigkeit, mit welcher die Dampfbläschen in ruhiger Luft herabfallen würden. Sehen wir ja doch auch, wie die Seifenblasen durch den Wind fortgeführt und über Häuser hinweggetragen werden. So erklärt sich denn auch durch die aufsteigenden Luftströme das Steigen des Nebels.

Das Ansehen der Wolken ist, je nachdem sie höher oder tiefer schweben, je nachdem sie mehr oder weniger dicht, auf diese oder jene Weise beleuchtet sind u. s. w., gar mannigfaltig. **Howard** hat unter den verschiedenen Wolken folgende Hauptarten unterschieden.

1) Die Federwolke, cirrus, besteht aus sehr zarten, bald mehr streifigen, bald mehr locken- oder federartigen Fasern, welche nach schönem Wetter zuerst am Himmel erscheinen. In unserer Fig. 571 sieht man sie in dem Eck oben

Fig. 571.



rechts bis herunter, wo die zwei Vögel schweben. Bei trockenem Wetter sind die Federwolken mehr streifig, bei feuchtem mehr verwaschen.

2) Die Haufenwolke, cumulus, welche in unserer Figur gerade unter die Federwolke gezeichnet ist, bildet große halbkugelförmige Massen, welche auf horizontaler Basis zu ruhen scheinen; diese Wolken erscheinen vorzugsweise im Sommer, manchmal thürmen sich Haufenwolken zu malerischen Gruppen zusammen und bieten dann, von der Sonne beschienen, den Anblick ferner Schneegebirge.

3) Die Schichtwolken, stratus, sind horizontale Wolkenstreifen (in unserer Figur unter dem cumulus), welche vorzugsweise bei Sonnenuntergang mit außerordentlicher Farbenpracht erscheinen.

Diese Grundformen gehen auf mannigfaltige Weise in einander über; Howard hat diese Uebergangsformen durch die Namen cirro-cumulus, cirro-stratus, cumulo-stratus und nimbus bezeichnet.

Die fedrige Haufenwolke, cirro-cumulus, ist der Uebergang der Federwolke zur Haufenwolke; es sind die kleinen weißen, runden Wölkchen, welche unter dem Namen Schäfchen allgemein bekannt sind.

Wenn die Federwolken nicht einzeln zerstreut, sondern zu Streifen von bedeutender Ausdehnung verbunden sind, so bilden sie die fedrige Schichtwolke, cirro-stratus, welche, wenn sie nahe am Horizonte stehen, den Anblick ausgedehnter Schichten bieten; oft überziehen die cirro-stratus den ganzen Himmel mit einem Schleier.

Wenn die Haufenwolken dichter werden, so gehen sie in die streifige Haufenwolke, cumulo-stratus, über, welche oft den ganzen Horizont mit einem blauschwarzen Farbentone überziehen und endlich in die eigentliche Regenwolke, nimbus (in unserer Figur links), übergehen.

Wenn man bedenkt, wie außerordentlich mannigfaltig an Gestalt sowohl als auch an Farbe die verschiedenen Wolken seyn können, so begreift man wohl, daß es oft schwierig ist, zu entscheiden, ob das Ansehen einer Wolke sich mehr dem einen oder dem anderen Typus nähert.

Unter allen Wolkenarten sind die Federwolken die höchsten, denn auf hohen Bergen bieten sie noch denselben Anblick wie im Thale. Kämtz hat zu Halle ihre Höhe annähernd zu 20000 Fuß bestimmt. Es ist höchst wahrscheinlich, daß die cirrus nicht aus Nebelbläschen, sondern aus Schneeflöckchen bestehen.

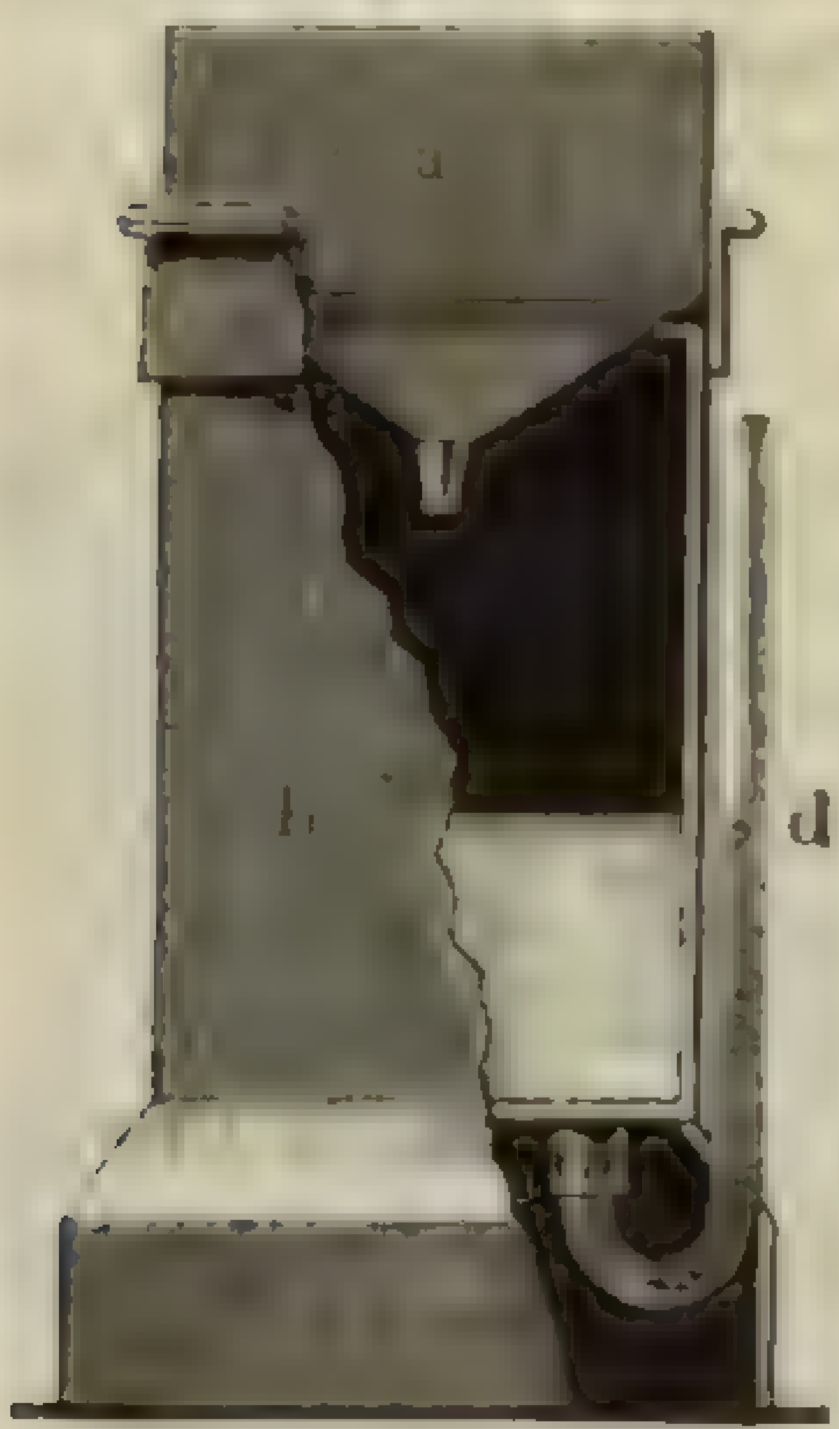
Die Haufwolken bilden sich gewöhnlich, wenn durch den aufsteigenden Luftstrom die Wasserdämpfe in die Höhe geführt und dort, wegen der geringeren Temperatur, verdichtet werden. Daher kommt es, daß sich oft gegen Mittag Wolken bilden, während die Sonne am heiteren Himmel aufgegangen ist, und gegen Abend der Himmel wieder heiter wird, weil die Wolken sich wieder senken, wenn der aufsteigende Strom wieder aufhört; in tieferen wärmeren Regionen angekommen, lösen sich dann die Wolken wieder auf, wenn die Luft nicht mit Dämpfen gesättigt ist. Wenn aber der Südwestwind mehr und mehr Wasserdämpfe herbeiführt, wenn die Luft mit Dämpfen gesättigt ist, so können die sich senkenden Wolken nicht wieder aufgelöst werden, sie werden dichter und dunkler, während oft hoch über den unteren Wolken eine Schicht von Federwolken schwebt. Die unteren Haufwolken gehen dann mehr und mehr in cumulo-stratus über, und man hat alsdann Regen zu erwarten.

Wenn durch fortwährende Condensation von Wasserdämpfen die einzelnen Dunstbläschen größer und schwerer werden, wenn endlich einzelne Bläschen sich nähern und zusammenfließen, so bilden sich förmliche Wassertropfen, welche nun als Regen herabfallen. In der Höhe sind die Regentropfen noch sehr klein, sie werden aber während des Fallens größer, weil sie wegen ihrer geringeren Temperatur die Wasserdämpfe der Luftschichten verdichten, durch welche sie herabfallen.

Regenmenge. Die Menge des Regens, welcher an irgend einem Orte 241
der Erde im Laufe eines Jahres fällt, ist für die Meteorologie ein höchst wichtiges Element. Die Instrumente, deren man sich zu diesem Zwecke be-

dient, werden Regenmesser, Ombrometer oder Udometer genannt.

Fig. 571.



Die Fig. 572 stellt den gewöhnlichen Regenmesser dar; er besteht aus einem quadratischen Blechgefäß *b*, welches 4 bis 8 Quadratdecimeter im Querschnitt hat und auf welchem ein zweites Gefäß *a* mit trichterartigem Boden aufgesetzt wird. In der Mitte dieses Trichters befindet sich eine Oeffnung, durch welche alles Wasser, welches in Form von Regen in das oben offene Gefäß *a* hineinfällt, in das Behälter *b* abfließt. Die Glasröhre *d* steht mit dem Inneren des Gefäßes *b* durch eine im Boden desselben angebrachte Oeffnung in Verbindung. An dieser, mit einer Theilung versehenen Röhre kann man nun stets die Höhe des Wasserstandes in *b* ablesen. Vorausgesetzt, daß die Querschnitte von *a* und *b* gleich oder doch nicht merklich verschieden sind, giebt die Höhe der Wasserschicht in *b* an, wie hoch sich der Boden in einer gewissen Zeit bedeckt haben würde, wenn es nicht eingeschluckt oder verdunstet wäre.

Die folgenden Tabellen geben die Regenverhältnisse verschiedener Orte in Europa.

I. Portugal.

	Lissabon.	Coimbra.	Mafra.	Funchal auf Madeira.
Jährl. Regenmenge	25,4 P.Z.	111,5	41,5	26,0
Im Winter	30,9 Proc.	21,0	53,4	50,6
» Frühling	33,9	18,6	27,5	16,3
» Sommer	3,4	17,6	2,7	2,8
» Herbst	22,8	42,8	16,4	30,3

II. Westliches und südliches England.

	Insel Man.	Bristol.	Liverpool.	Manchester	Lancaster.	Dover.
Jahr	34,8	21,8	32,3	23,9	37,2	44,1
Winter . . .	27,3	20,5	21,6	24,0	26,2	30,3
Frühling . .	18,2	23,8	17,9	20,0	16,1	20,1
Sommer . .	19,7	23,2	27,7	27,0	28,3	21,6
Herbst	34,8	32,5	32,9	29,0	29,4	28,0

III. Inneres und östliches England.

	Oxford.	London.	Dumfries.	Glasgow.	Edinburg.	Chattsworth.
Jahr	20,6	23,4	34,7	20,0	23,3	25,9
Winter ...	21,9	23,6	24,6	24,9	23,4	23,2
Frühling ..	19,3	22,4	18,3	17,8	19,9	19,9
Sommer ..	24,4	23,5	25,5	29,9	26,8	27,9
Herbst	34,4	30,5	31,6	27,3	29,9	28,9

IV. Westküste von Frankreich und die Niederlande.

	Bordeaux.	La Rochelle	Franecker.	Rotterdam.	Breda.	Middelburg.
Jahr	24,3	24,2	18,6	21,2	24,7	25,4
Winter ...	27,7	28,2	21,9	16,5	23,2	21,8
Frühling ..	21,4	19,7	16,8	22,3	18,0	14,1
Sommer ..	24,1	17,9	28,8	29,8	23,9	31,5
Herbst	26,7	34,2	32,5	31,9	34,9	32,6

V. Westrheinische Gegenden.

	Paris.	Brüssel.	Cambray.	Metz.	Troyes.	Straßburg.	Coblenz.
Jahr	20,8	17,9	16,0	27,2	22,4	25,6	20,9
Winter ...	20,7	18,7	13,8	21,6	18,7	16,0	16,2
Frühling ..	25,0	23,7	21,9	25	27,4	23,6	24,0
Sommer ..	30,5	30,7	33,4	21,1	28,1	34,1	35,0
Herbst	23,8	26,9	30,9	31,1	25,8	26,3	24,9

VI. Deutschland.

	Mannheim.	Stuttgart	Ulm.	Regensburg.	Tegernsee.	Göttingen.	Erfurt.
Jahr . .	21,0	23,7	25,1	21,1	43,8	24,9	12,6
Winter .	18,3	20,1	21,3	19,3	16,4	18,4	15,5
Frühling	23,7	19,8	19,5	17,7	18,5	18,1	21,7
Sommer	32,6	33,5	36,6	40,1	44,7	35,9	41,0
Herbst .	25,4	26,6	22,6	22,9	20,4	27,6	21,8

VII. Schweden, Dänemark und Rußland.

	Bergen.	Copenhagen.	Stockholm.	Upsala.	Abo.	Petersburg.
Jahr	83,2	17,3	19,2	16,7	24,2	17,1
Winter . . .	26,6	19,1	14,8	17,4	17,7	13,6
Frühling. . .	17,9	15,4	13,3	21,0	18,3	19,4
Sommer. . .	21,0	37,7	38,0	32,8	28,0	36,5
Herbst	34,5	27,8	33,9	28,8	36,0	30,5

VIII. Südöstliches Frankreich und die Schweiz.

	Marseille.	Toulon.	Nimes.	Viviers.	Joyeuse.	Bourg en Bresse.	Toulouse.	Dijon.	Genf.	Bern.	Zürich.
Jahr	20,6	17,5	23,7	33,9	47,7	43,3	23,7	23,9	29,8	43,2	32,2
Winter . . .	20,8	23,0	22,3	19,4	20,3	20,8	21,0	17,9	21,6	20,9	20,3
Frühling . .	22,3	24,1	24,0	22,2	23,1	24,6	26,2	25,6	21,8	20,0	23,6
Sommer . .	12,5	9,3	13,9	20,0	16,2	24,4	24,9	27,6	29,7	35,1	33,3
Herbst . . .	44,4	43,6	39,8	38,4	40,4	30,2	28,8	28,9	26,9	24,0	22,8

IX. Italien.

	Palermo.	Rom.	Genua	Florenz.	Siena.	Mailand.	Verona.	Padua.	Rovigo.
Jahr . . .	20,7	29,3	44,4	38,7	32,0	35,5	34,6	34,6	30,8
Winter .	39,1	31,0	27,2	35,7	19,7	21,1	18,3	19,0	31,0
Frühling.	24,3	24,9	28,6	20,9	26,2	24,1	25,4	26,4	27,4
Sommer.	5,5	9,7	9,2	12,9	18,2	23,9	26,1	25,6	14,3
Herbst .	31,1	34,3	35,0	30,5	36,9	30,9	30,2	29,0	27,3

Die erste Horizontalreihe einer jeden dieser Tabellen giebt die jährliche Regenmenge in Pariser Zollen an, die folgenden Horizontalreihen aber geben an, wieviel Procente der jährlichen Regenmenge auf die einzelnen Jahreszeiten kommen.

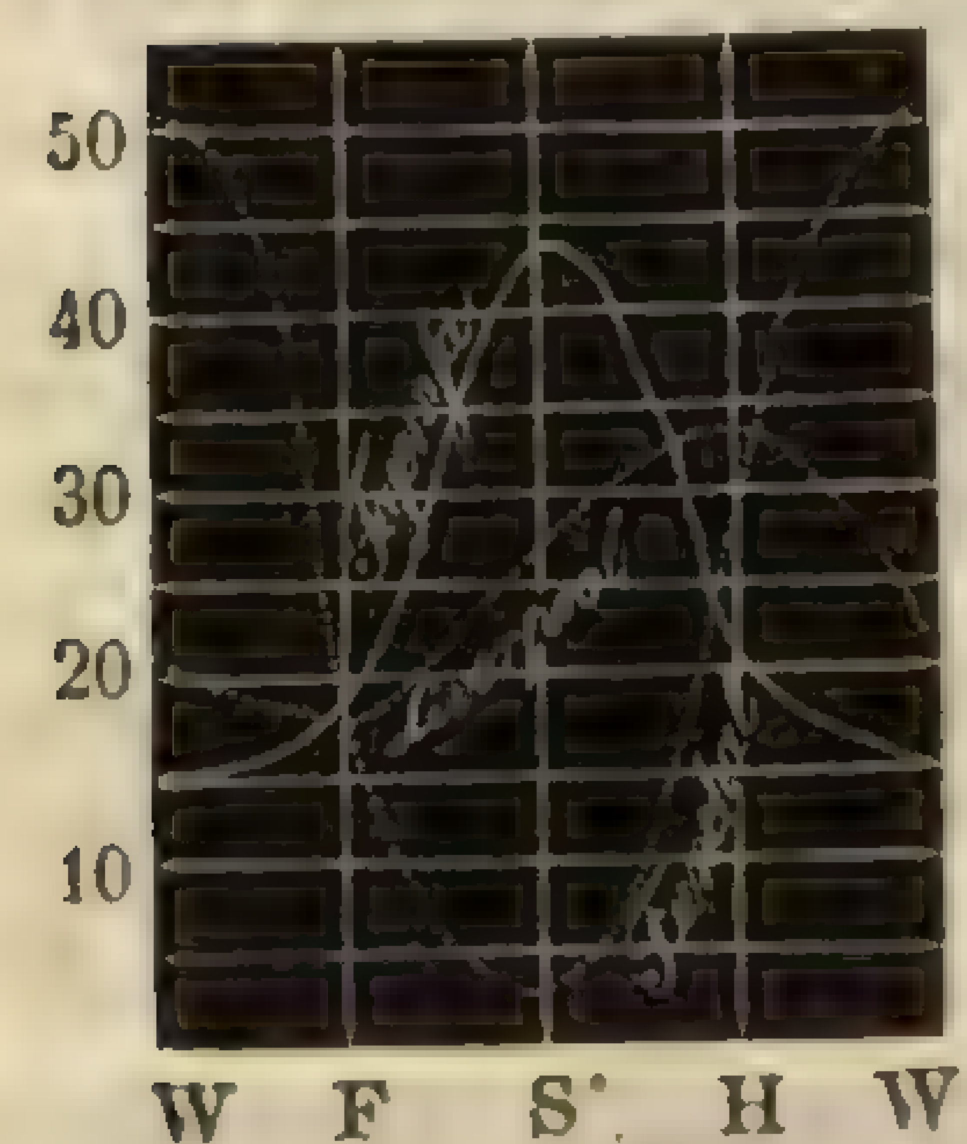
Aus der Betrachtung dieser Tabellen ergiebt sich zunächst, daß sich Europa in Beziehung auf die Vertheilung des Regens in drei Provinzen theilen läßt.

In England, auf den Westküsten von Frankreich, in den Niederlanden und Norwegen sind die Herbstregen vorherrschend.

In Deutschland, den westrheinischen Gegenden, Dänemark und Schweden herrschen die Sommerregen vor.

Die Sommerregen fehlen im südöstlichen Frankreich, Italien, dem südlichen Portugal, überhaupt in dem Theile Europas, welcher Afrika zunächst liegt, fast ganz.

Fig. 573.



Diese Unterschiede in der Vertheilung der Regenmenge sind in Fig. 573 durch Curven anschaulich gemacht, welche die Vertheilung des Regens auf die vier Jahreszeiten an drei Orten darstellen, an welchen der Charakter der erwähnten drei Provinzen sehr entschieden hervortritt. Als Ordinaten sind die Procente der jährlichen Regenmenge genommen, welche auf jede der vier Jahreszeiten kommen.

Im Allgemeinen nimmt die Regenmenge mit der Entfernung vom Meere ab; bezeichnen wir die jährliche Regenmenge in Petersburg mit 1, so ist die jährliche Regenmenge

in den Ebenen von Deutschland . . .	1,2
im Inneren von England	1,4
an den Küsten von England . . .	2,1.

Die Regenmenge nimmt mit der Höhe der Orte über der Meeresfläche zu, weil die Berge einen Niederschlag veranlassen, wenn sie von einem Strome feuchter Luft getroffen werden; daher die bedeutende Regenmenge in den Alpen.

An einem und demselben Orte nimmt die Regenmenge mit der Höhe über dem Boden ab, wahrscheinlich weil die Regentropfen, indem sie durch die mit Wasserdampf gesättigte Luft herabfallen, sich fortwährend vergrößern; so fallen z. B. im Hofe des Observatoriums zu Paris im Laufe eines Jahres durchschnittlich 57^{cm}, auf der 28 Meter höher liegenden Terrasse nur 50^{cm} Regen.

Die Anzahl der Regentage während eines Jahres nimmt in Europa im Allgemeinen von Süden nach Norden zu. Im Durchschnitt kommen auf das Jahr

im südlichen Europa	120	Regentage
» mittleren »	146	»
» nördlichen »	180	»

Daß die Regenmenge nicht allein von der Zahl der Regentage abhängen kann, ist klar; denn es kommt ja nicht allein darauf an, an wie vielen Tagen es regnet, sondern auch, wie viel es regnet. Wenn in den nördlicheren Gegen-

den die Zahl der Regentage zunimmt, so nimmt dagegen die Intensität des Regens im Allgemeinen ab, und so erklärt es sich z. B., daß in Petersburg die Zahl der Regentage zwar größer, die Regenmenge aber geringer ist, als in Rom.

Mit der Entfernung vom Meere nimmt sowohl die Regenmenge als auch die Zahl der Regentage ab; so kommen z. B. im Durchschnitt

in Petersburg	168
» Kasan	90
» Jakutzk	60

Regentage auf das ganze Jahr.

So wie unter sonst gleichen Umständen der Regen in wärmeren Gegenden intensiver ist als in kälteren, so ist er auch in der warmen Jahreszeit intensiver als in der kalten. Im Durchschnitt kommen in Deutschland auf den Winter 38, auf den Sommer 42 Regentage; die Zahl der Regentage ist also im Sommer kaum etwas bedeutender als im Winter, und doch die Regenmenge im Sommer ungefähr doppelt so groß als im Winter. In den Sommermonaten fällt oft bei einem einzigen Gewitter mehr Regen als sonst in mehreren Wochen.

243 **Regen zwischen den Wendekreisen.** Da, wo die Passatwinde mit großer Regelmäßigkeit wehen, ist der Himmel meistens heiter, und es regnet selten, namentlich wenn die Sonne auf der anderen Hemisphäre steht. Auf den Continenten aber wird die Regelmäßigkeit des Passats gestört durch die Intensität des aufsteigenden Luftstromes, sobald sich die Sonne dem Zenith nähert; um diese Zeit stellt sich auch ein mehrere Monate andauerndes heftiges Regenwetter ein, während die andere Hälfte des Jahres hindurch der Himmel heiter und die Luft trocken ist.

Humboldt hat uns die Erscheinungen der nassen Jahreszeit im nördlichen Theile von Südamerika beschrieben. Vom December bis zum Februar ist die Luft trocken und der Himmel heiter. Im März wird die Luft feuchter, der Himmel weniger rein, der Passatwind weht weniger stark, und oft ist die Luft ganz ruhig. Mit Ende März beginnen die Gewitter; sie bilden sich des Nachmittags, wenn die Hitze am größten ist, und sind von heftigen Regengüssen begleitet. Gegen Ende April fängt eigentlich die nasse Jahreszeit an; der Himmel überzieht sich mit einem gleichförmigen Grau, und es regnet täglich von 9 Uhr Morgens bis 4 Uhr Nachmittags; des Nachts ist der Himmel meistens rein. Der Regen wird am heftigsten, wenn die Sonne im Zenith steht. Allmälig wird die Zeit des Tages, in welcher es regnet, immer kürzer, und gegen Ende der Regenzeit regnet es nur Nachmittags.

Die Dauer der Regenzeit ist in verschiedenen Gegenden nicht dieselbe; sie beträgt 3 bis 5 Monate.

In Ostindien, wo die Regelmäßigkeit der Passatwinde durch örtliche Verhältnisse gestört ist und wo statt ihrer die Moussons wehen, finden wir auch normale Regenverhältnisse; an der steilen Westküste von Vorderindien fällt die Regenzeit mit der Zeit unseres Winters zusammen, sie fällt nämlich in die Zeit,

zu welcher die Südwestmoussons wehen und, mit Feuchtigkeit beladen, an die hohen Gebirge anstoßen. Während es auf der Küste Malabar regnet, ist auf der Ostküste Coromandel der Himmel heiter; hier stellt sich die Regenzeit mit dem Nordostpassat, also gerade zu der Zeit ein, zu welcher auf der Westküste die trockene Jahreszeit herrscht.

In der Region der Calmen findet man diese periodischen Regen nicht, es finden hier fast täglich heftige Regengüsse Statt. Der aufsteigende Luftstrom führt eine Masse von Wasserdämpfen in die Höhe, welche sich in den kälteren Regionen wieder verdichten. Die Sonne geht fast immer bei heiterem Himmel auf, gegen Mittag aber bilden sich einzelne Wolken, welche dichter und dichter werden, bis ihnen endlich, meist unter heftigen Windstößen und elektrischen Entladungen, eine ungeheure Regenmenge entströmt. Gegen Abend zerstreut sich das Gewölk und die Sonne geht wieder bei heiterem Himmel unter.

Die jährliche Regenmenge ist im Allgemeinen in den Tropen sehr groß, sie beträgt z. B. in Bombay 73,5, in Kandy 68,9, in Sierra Leone 80,9, zu Rio Janeiro 55,6, auf St. Domingo 100,9, zu Havanna 85,7 und in Grenada 105 Pariser Zoll. Bedenkt man nun, daß der Regen meist nur auf wenige Monate vertheilt ist und daß es nur an wenigen Stunden des Tages regnet, so ist klar, daß der Regen sehr stark seyn muß. In Bombay fiel an einem Tage 5 Zoll, zu Cayenne in 10 Stunden 10 Zoll Regen. Die Regentropfen sind sehr groß und fallen mit solcher Geschwindigkeit nieder, daß sie auf der nackten Haut ein schmerzhaftes Gefühl erzeugen.

Schnee und Hagel. Ueber die Bildung des Schnees weiß man bis jetzt noch sehr wenig. Wahrscheinlich bestehen die Wolken, in denen sich die Schneeflocken zuerst bilden, nicht aus Dunstbläschen, sondern aus feinen Eiskryställchen, welche durch fortwährende Condensation von Wasserdämpfen größer werden und so Schneeflocken bilden, welche selbst noch beim Herabfallen durch die unteren Luftschichten wachsen. Sind die unteren Luftregionen zu warm, so schmelzen die Schneeflocken, ehe sie den Boden erreichen, es regnet unten, während es oben schneit. 244

Auf die regelmäßige Gestalt der Schneeflocken, welche man am besten beobachten kann, wenn man sie auf einem dunklen unter 0° erkalteten Körper auffängt, hat schon Keppler aufmerksam gemacht. Scoresby hatte Gelegenheit, in den Polarregionen eine Menge interessanter Untersuchungen über die Gestalt der Schneeflocken zu machen. Sein Werk enthält gegen 100 verschiedene Figuren, von welchen einige der interessantesten in Fig. 574 (a. f. S.) zusammengestellt sind.

Schon eine oberflächliche Betrachtung dieser Figuren zeigt, daß sich alle diese Gestalten im Wesentlichen auf einen regelmäßigen sechsseitigen Stern zurückführen lassen, wonach denn die Schneeflocken dem hexagonalen Krystallsysteme (dem Krystallsysteme des Bergkrystalls) angehören. Auch das Eis, wie es die Oberfläche der Flüsse und Seen bedeckt, hat eine diesem Krystallsysteme ent-

sprechende Structur, wenn man auch keine eigentlichen Krystallflächen an demselben beobachten kann, wie dies durch die optischen Eigenschaften des Eises schon oben, Bd. I. Seite 599, dargethan wurde.

Fig. 574.



Der Graupelregen, den man gewöhnlich im März und im April beobachtet, entsteht auf ähnliche Art wie der Schnee; die Graupelkörner bestehen aus ziemlich fest zusammengeballten Eisnädelchen.

Der Hagel ist eine der furchtbarsten Geißeln für den Landmann und eines der schwierigsten Phänomene für den Meteorologen. Wir benutzen in der folgenden Darstellung einen interessanten Artikel, welchen Arago über diesen Gegenstand in dem Annuaire du Bureau des longitudes für 1828 bekannt gemacht hat.

Die gewöhnliche Größe der Hagelkörner ist die einer Haselnuß; sehr häufig fallen kleinere, sie werden aber als weniger gefährlich nicht sonderlich beachtet, oft sind sie aber auch noch weit größer und zerschmettern dann Alles, was sie treffen. Alte Chroniken erzählen von Hagelkörnern, welche so groß gewesen sein sollen wie Elephanten; ohne uns bei solchen fabelhaften Erzählungen aufzuhalten, wollen wir sogleich zur Aufzählung zuverlässiger Nachrichten übergehen.

Hally erzählt, daß am 9. April 1697 Hagelkörner fielen, welche 10 Loth wogen; Robert Taylor hat am 4. Mai 1697 Hagelkörner gemessen, deren Durchmesser vier Zoll betrug. Montignot sammelte den 11. Juli 1753 zu Toul Hagelkörner, welche 3 Zoll Durchmesser hatten. Volta versichert, daß man unter den Hagelkörnern, welche in der Nacht vom 19. auf den 20. August 1787 die Stadt Como und ihre Umgebungen verwüsteten, einige gefunden habe, welche 18 Loth wogen. Nach Nöggerath fielen während des Hagelwetters vom 7. Mai 1822 zu Bonn Hagelkörner, welche 24 bis 26 Loth wogen.

Die Form der Hagelkörner ist sehr verschieden. In der Regel sind sie abgerundet, manchmal aber auch abgeplattet oder eckig. In der Mitte der Hagelkörner befindet sich in der Regel ein undurchsichtiger Kern, welcher den Graupelkörnern gleicht; dieser Kern ist mit einer durchsichtigen Eismasse umgeben, in welcher sich manchmal einzelne concentrische Schichten unterscheiden

lassen; bisweilen beobachtet man abwechselnd durchsichtige und undurchsichtige Eisschichten, endlich hat man auch schon Hagelkörner mit strahliger Structur beobachtet.

Pouillet fand, daß die Temperatur der Hagelkörner — 0,5 bis — 4° beträgt.

Der Hagel geht gewöhnlich den Gewitterregen voran, oder er begleitet sie. Nie, oder wenigstens fast nie, folgt der Hagel auf den Regen, namentlich wenn der Regen einige Zeit gedauert hat.

Das Hagelwetter dauert meistens nur einige Minuten, selten dauert es 1/4 Stunde lang. Die Menge des Eises, welches in so kurzer Zeit den Wolken entströmt, ist ungeheuer; die Erde ist manchmal mehrere Zoll hoch damit bedeckt.

Der Hagel fällt häufiger bei Tage als bei Nacht. Die Wolken, welche ihn bringen, scheinen eine bedeutende Ausdehnung und eine bedeutende Tiefe zu haben; denn sie verbreiten in der Regel eine große Dunkelheit. Man glaubt bemerkt zu haben, daß sie eine eigenthümliche grauröthliche Farbe besitzen, daß an ihrer unteren Gränze große Wolkenmassen herabhängen und daß ihre Ränder vielfach zerrissen sind.

Die Hagelwolken scheinen meistens sehr niedrig zu schweben. Die Bergbewohner sehen öfter unter sich die Wolken, welche die Thäler mit Hagel überschütten; ob jedoch die Hagelwolken immer so tief ziehen, läßt sich nicht mit Sicherheit ausmachen.

Einige Augenblicke vor dem Beginne des Hagelwetters hört man ein eigenthümliches, rasselndes Geräusch. Endlich ist der Hagel stets von elektrischen Erscheinungen begleitet.

Um einen Begriff zu geben, wie weit und wie schnell sich diese furchtbare Geißel verbreiten kann, mögen hier einige nähere Angaben über das Hagelwetter folgen, welches den 13. Juli 1788 Frankreich und Holland durchzog.

Das Hagelwetter verbreitete sich gleichzeitig in zwei parallelen Streifen; der östliche Streifen war schmäler, seine größte Breite betrug 5, seine geringste 1/2 Meile (lieue = 2300 Toisen); der westliche Streifen war an seiner schmalsten Stelle 3, an seiner breitesten 4 Meilen breit. Diese beiden Streifen waren durch einen im Durchschnitt 5 1/4 Meilen breiten Streifen getrennt, auf welchem es nur regnete.

Die Richtung dieser Streifen ging von Südwest nach Nordost. Eine von Amboise nach Mecheln gezogene gerade Linie bildete ungefähr die Mitte des östlichen, eine andere von der Mündung des Indre in die Loire bis Gent gezogene bildete ungefähr die Mitte des westlichen Streifens.

Auf dieser ganzen Länge, welche über 100 Meilen beträgt, fand keine Unterbrechung des Gewitters Statt, und sicheren Angaben zufolge kann man annehmen, daß es sich noch 50 Meilen weiter nach Süden und 50 Meilen weiter nach Norden erstreckte, so daß seine Totallänge über 200 Meilen betrug. Es verbreitete sich mit einer Geschwindigkeit von 16 Meilen in der Stunde von den Pyrenäen, wo es seinen Anfang genommen zu haben scheint, bis zum baltischen Meere, wo man seine Spur verlor.

Der Hagel fiel nur 7 bis 8 Minuten lang; die Hagelkörner waren theils rund, theils zackig; die schwersten wogen 16 Loth.

Die Zahl der in Frankreich verwüsteten Pfarrdörfer betrug 1039; der Schaden, welchen das Wetter anrichtete, wurde nach officiellen Angaben auf 24,690,000 Franken geschätzt.

Was die Erklärung des Hagels betrifft, so bietet sie zwei Schwierigkeiten; nämlich woher die große Kälte kommt, welche das Wasser gefrieren macht, und dann, wie es möglich ist, daß die Hagelkörner, wenn sie einmal so groß geworden sind, daß sie eigentlich durch ihr Gewicht herabfallen müßten, noch so lange in der Luft bleiben können, daß sie zu einer so bedeutenden Masse erwachsen können.

Was die erste Frage betrifft, so meinte Volta, daß die Sonnenstrahlen an der oberen Gränze der dichten Wolke fast vollständig absorbirt würden, was eine rasche Verdunstung zur Folge haben müsse, namentlich wenn die Luft über den Wolken sehr trocken ist; durch diese Verdunstung solle nun so viel Wärme gebunden werden, daß das Wasser in den tieferen Wolkenschichten gefriert. Wenn aber die Verdunstung des Wassers in den oberen Wolkenschichten durch die Wärme der Sonnenstrahlen veranlaßt wird, so ist nicht einzusehen, warum durch die Verdunstung den tieferen Wolkenschichten so viel Wärme entzogen werden soll.

In Beziehung auf die zweite Frage schlug Volta eine in der That geistreiche Theorie vor, welche auch eine große Celebrität erlangt hat; er nimmt an, daß zwei mächtige, mit entgegengesetzter Elektricität geladene Wolkenschichten über einander schweben. Wenn nun die noch sehr kleinen Hagelkörner auf die untere Wolke fallen, so werden sie bis zu einer gewissen Tiefe eindringen und sich mit einer neuen Eisschicht umgeben; sie werden sich aber auch mit der Elektricität der unteren Wolke laden und von dieser zurückgestoßen, während die obere sie anzieht; sie steigen also trotz ihrer Schwere wieder zur oberen Wolke in die Höhe, wo sich derselbe Vorgang wiederholt; so fahren sie eine Zeitlang zwischen den beiden Wolken hin und her, bis sie endlich herabfallen, wenn sie zu schwer werden und die Wolken ihre Elektricität verlieren.

Gegen diese Ansicht läßt sich einwenden, daß es schwer denkbar ist, wie die Elektricität ohne eine plötzliche Wirkung, also ohne einen Entladungsschlag, so große Eismassen in die Höhe zu heben vermag, und daß, wenn wirklich die elektrische Ladung der beiden Wolken auch so stark seyn sollte, die Elektricität augenblicklich von einer zur anderen übergehen müßte, namentlich da ja die Hagelkörner eine leitende Verbindung zwischen ihnen herstellen.

Bereits im Januar 1849 theilte mir Fr. Vogel in Frankfurt a. M. eine Ansicht über Hagelbildung mit, die ein, so viel ich weiß, bis jetzt ganz unbeachtet gebliebenes Element zur Erklärung dieses räthselhaften Phänomens enthält. Vogel meint nämlich, daß der Bläschendampf, welcher die Wolken bildet, ebenfalls weit unter den Schmelzpunkt des Eises erkalten könne, ohne daß ein Erstarren eintritt, wie man dasselbe beim tropfbar flüssigen Wasser beobachtet (S. 479). Wenn nun aus einer höheren Wolkenschicht Graupelkör-

ner durch eine in diesem Zustande befindliche Wolke herabfallen, so muß auf ihnen sich Wasser niederschlagen, welches augenblicklich erstarrt. Der niedrigen Temperatur der Wolke wegen kann auf diese Art in ganz kurzer Zeit eine massenhafte Eisbildung stattfinden.

Es ist nun zunächst die Frage, ob es noch andere Phänomene giebt, welche gleichfalls darauf hindeuten, daß der von Vogel angenommene Zustand der Wolken wirklich existirt, d. h. daß es wirklich Regenwolken gebe, welche weit unter 0° erkaltet sind. (Bei den Schneewolken sind die Wassertheilchen bereits in den festen Zustand übergegangen; denn diese Wolken bestehen aus feinen in der Luft schwebenden Eisnädelchen.)

Ich selbst habe in der That ein solches Phänomen beobachtet. Im Januar 1845 fiel, nachdem das Thermometer einige Tage lang über den Gefrierpunkt gestanden hatte, ein Regen, welcher den Boden mit einer Eiskruste überzog. Daß diese Erscheinung nicht etwa ein gewöhnliches Glatteis war, versteht sich von selbst, denn der Boden war nicht unter 0° erkaltet, er konnte also nicht die Ursache der Erstarrung seyn. Sogar Regenschirme, die doch aus dem warmen Zimmer genommen waren, wurden in kurzer Zeit durch diesen Regen mit einer $1/2$ Linie dicken durchsichtigen Eiskruste überzogen.

Diese auffallende Erscheinung, welche ich als eine ganz vereinzelt stehende Thatsache fast vergessen hatte, erhielt nun durch Vogel's Mittheilung eine große Bedeutung; denn sie liefert den Beweis, daß der von Vogel angenommene Zustand der Wolken wirklich vorkommt. Offenbar bestanden die fallenden Regentropfen aus Wasser, welches unter den Gefrierpunkt erkaltet war, aber erst beim Aufschlagen auf feste Körper erstarrte.

Im Laufe des letzten Sommers theilte mir C. Nöllner in Billwerder bei Hamburg eine ganz ähnliche Ansicht über Hagelbildung mit, ohne daß er wohl von Vogel's Theorie, die meines Wissens noch nirgends publicirt worden ist, Kenntniß haben konnte.

Fünftes Kapitel.

Optische Erscheinungen der Atmosphäre.

Farbe des Himmels. Der heitere Himmel erscheint uns blau, und 245
zwar ist dieses Blau je nach dem Zustande der Atmosphäre bald heller und weißlicher, bald dunkler; auf hohen Bergen erscheint der Himmel sehr dunkelblau, ja fast schwarz. Es ist dies leicht zu erklären; wenn die Luft absolut durchsichtig wäre, wenn die einzelnen Lufttheilchen gar kein Licht reflectirten oder vielmehr zerstreuten, so müßte uns der Himmel vollkommen schwarz erscheinen, die Sonne, der Mond, die Sterne würden glänzend auf dem schwarzen Grunde stehen; nun aber reflectiren die Lufttheilchen das Licht, und so kommt es, daß bei Tage der ganze Himmel hell erscheint, weil die von der Sonne erleuchteten

Lufttheilchen das Licht nach allen Seiten hin zerstreuen. Diese Erleuchtung der Atmosphäre durch die Sonnenstrahlen ist die Ursache, daß wir die Sterne bei Tage nicht sehen können. Die Lufttheilchen reflectiren vorzugsweise das blaue Licht, und deshalb erscheint uns der an und für sich dunkle Himmelsraum mit Blau überzogen. Je höher wir uns in die Atmosphäre erheben, desto dünner wird dieser blaue Ueberzug und desto dunkler wird uns also auch der Himmel erscheinen; so erscheint auch im Zenith der Himmel stets am dunkelsten blau und gegen den Horizont mehr weißlich.

Das reine Blau des Himmels wird besonders durch die in der Luft schwebenden condensirten Wasserdämpfe gebleicht, durch feine Nebel, welche oft den Himmel mit einem leichten Schleier überziehen, ohne doch schon dicht genug zu seyn, um als Wolken zu erscheinen.

Die Erscheinungen der Abend- und Morgenröthe wurden dadurch erklärt, daß man sagte, die Luft lasse vorzugsweise die rothen und gelben Strahlen durch, sie reflectire aber die blauen; des Abends und des Morgens haben aber die Sonnenstrahlen einen sehr weiten Weg durch die Atmosphäre zurückzulegen, daher die rothe Färbung der durchgelassenen Strahlen, welche besonders brillant ist, wenn Wolken durch diese Strahlen beleuchtet werden.

Forbes hat gezeigt, daß diese Meinung nicht ganz richtig seyn kann, indem das Blau des Himmels durchaus nicht die complementäre Farbe des Abendrothes ist. Nach Forbes rührt das Abend- und Morgenroth nicht von der Luft selbst, sondern von dem in derselben enthaltenen Wasserdampfe her.

Eines Tages stand Forbes neben einem Dampfwagen, der durch sein Sicherheitsventil eine große Menge Dampf entließ; zufällig sah er durch die aufsteigende Dampfsäule nach der Sonne und war überrascht, sie sehr tief orangeroth gefärbt zu sehen. Später beobachtete er noch öfters dasselbe Phänomen und entdeckte eine wichtige Abänderung desselben. Nahe über dem Sicherheitsventile, zu welchem der Dampf herausblies, war dessen Farbe für durchgehendes Licht das erwähnte tiefe Orangeroth; in größerer Entfernung jedoch, wo der Dampf vollständiger verdichtet war, hörte die Erscheinung gänzlich auf. Selbst bei mäßiger Dicke war die Dampfwolke durchaus undurchdringlich für die Sonnenstrahlen, sie warf einen Schatten wie ein fester Körper; und wenn ihre Dicke gering war, so war sie zwar durchscheinend, aber durchaus farblos. Die Orangefarbe des Dampfes scheint also einer besonderen Stufe der Verdichtung anzugehören. Bei vollkommener Gasgestalt ist der Wasserdampf ganz durchsichtig und farblos, in jenem Uebergangszustande ist er durchsichtig und rauchroth, wenn er aber vollständig zu Nebelbläschen verdichtet ist, so ist er bei geringer Dicke durchscheinend und farblos, bei großer Dicke vollkommen undurchsichtig.

Forbes wendet dies zur Erklärung der Abendröthe an. Als reine, farblose, elastische Flüssigkeit giebt der Wasserdampf der Luft ihre größte Durchsichtigkeit, wie man sie besonders beobachtet, wenn sich nach einem heftigen Regen der Himmel wieder aufhellt. Im Uebergangszustande läßt er die gelben und rothen Strahlen durch und bringt in diesem Zustande die Erscheinungen der Abendröthe hervor.

Diese Theorie erklärt auch sehr gut, daß das Abendroth weit brillanter ist als das Morgenroth; daß Abendroth und Morgengrau die Anzeigen schönen Wetters sind. Gleich nach dem Temperaturmaximum des Tages und vor Sonnenuntergang fangen der Boden und die Luftschichten in verschiedener Höhe an, Wärme durch Strahlung zu verlieren. Bevor sich aber in Folge dessen der Wasserdampf vollständig verdichtet, durchläuft er jenen Uebergangszustand, welcher die Abendröthe erzeugt. Des Morgens ist es anders. Die Dämpfe, welche bei Umkehrung des Processes wahrscheinlich das Roth erzeugt haben würden, steigen nicht eher auf, als bis die Wirkung der Sonne lange genug angehalten hat; alsdann ist aber die Zeit des Sonnenaufgangs vorüber, die Sonne steht schon hoch am Himmel. Das feurige Ansehen des Morgenhimmels rührt von der Anwesenheit eines so großen Ueberschusses an Feuchtigkeit her, daß durch die Verdichtung in höheren Regionen wirklich Wolken entstehen, im Gegensatze mit der Tendenz der steigenden Sonne, sie zu zerstreuen; das Morgenroth ist deshalb als Vorbote baldigen Regens zu betrachten.

Wenn die Sonne am westlichen Horizonte verschwunden ist, so tritt nicht plötzlich die Dunkelheit ein, sondern eine Dämmerung, welche nach Umständen bald längere, bald kürzere Zeit dauert. Diese Dämmerung rührt daher, daß die Luft am westlichen Himmel und die in ihr schwebenden Wassertheilchen noch lange von der Sonne beschienen werden, nachdem sie unseren Blicken schon entschwunden ist, und daß diese erleuchteten Luft- und Wassertheilchen uns noch ein allmälig mehr und mehr abnehmendes Licht zusenden. In unseren Gegenden dauert die Dämmerung ungefähr bis die Sonne 18° unter dem Horizonte ist. Die längere Dauer der Dämmerung in höheren Breiten rührt besonders daher, daß die Sonnenbahn sehr stark gegen den Horizont geneigt ist und daß es deshalb sehr lange dauert, bis die Sonne 18° unter dem Horizonte steht. Je mehr wir uns dem Aequator nähern, desto weniger schräg ist die Sonnenbahn gegen den Horizont; unter dem Aequator selbst macht sie einen rechten Winkel mit demselben; in den heißen Ländern ist deshalb die Dämmerung von kürzerer Dauer. In Italien ist sie kürzer als bei uns; in Chili dauert sie nur $^1/_4$ Stunde, in Cumana nur einige Minuten. Diese so sehr kurze Dauer der Dämmerung läßt sich nicht allein durch die Richtung der Sonnenbahn gegen den Horizont erklären, sie hat zum Theil auch in der außerordentlichen Reinheit des Himmels ihren Grund; denn in unseren Gegenden tragen die zarten, hoch in der Luft schwebenden Nebel, welche bei Tage den Himmel mit einem Schleier überziehen, die Lichtstrahlen aber stark reflectiren, sehr zur Verlängerung der Dämmerung bei.

Luftspiegelung. Wenn man entfernte Gegenstände betrachtet, so sieht 246
man bisweilen noch gerade, schiefe oder umgekehrte Bilder derselben. Diese Bilder, welche ohne sichtbaren Spiegel hervorgebracht werden, nennt man **Luftbilder**.

Wir wollen uns zunächst mit dieser Erscheinung beschäftigen, wie sie in den Ebenen von Aegypten beobachtet wird.

Der Boden von Niederägypten bildet eine weite Ebene, über welcher sich

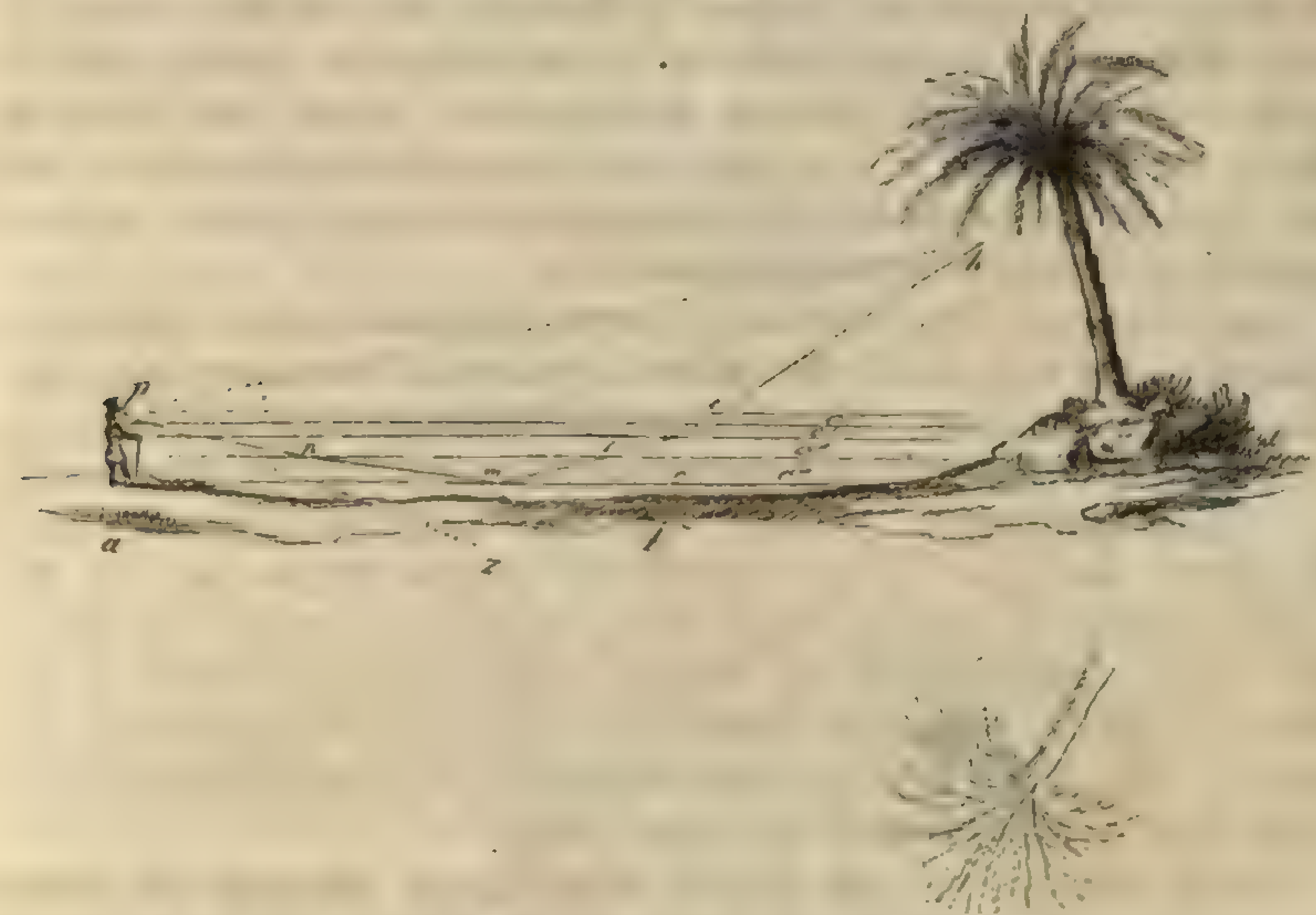
zur Zeit der Ueberschwemmung die Gewässer des Nils verbreiten. An den Ufern des Flusses und bis auf eine große Entfernung gegen die Wüste hin sieht man kleine Erhöhungen, auf welchen sich Gebäude und Dörfer erheben. Gewöhnlich ist die Luft ruhig und rein. Wenn die Sonne aufgeht, erscheinen alle entfernten Gegenstände scharf und deutlich; sobald aber die Tageshitze merklich, der Boden durch die Sonnenstrahlen erhitzt wird und die unteren Luftschichten an dieser hohen Temperatur Theil nehmen, so entsteht in der Luft eine Art zitternder Bewegung, welche dem Auge sehr merklich ist und welche auch in unseren Gegenden an heißen Sommertagen beobachtet wird. Wenn nun kein Wind geht und die Luftschichten, welche auf dem Boden ruhen, unbeweglich bleiben, während sie durch die Berührung mit dem Boden erhitzt werden, so entwickelt sich das Phänomen der Luftspiegelung in seiner ganzen Pracht. Der Beobachter, welcher nach der Ferne schaut, sieht noch das directe Bild aller Erhöhungen, der Dörfer, kurz aller hohen Gegenstände; unterhalb derselben sieht er aber ihr verkehrtes Bild, ohne den Boden sehen zu können, auf welchem sie sich erheben; alle diese Gegenstände erscheinen ihm also, als ob sie sich mitten in einem ungeheuren See befänden. Diese Erscheinung wurde während der französischen Expedition in Aegypten oft beobachtet, sie war für die Soldaten ein ganz neues Schauspiel und eine grausame Täuschung. Wenn sie aus der Ferne den Reflex des Himmels, das verkehrte Bild der Häuser und Palmbäume sahen, so konnten sie nicht zweifeln, daß alle diese Bilder durch die Oberfläche eines Sees gespiegelt seyen. Ermüdet durch forcirte Märsche, durch die Sonnenhitze und eine mit Sand beladene Luft, liefen sie dem Ufer zu, aber dieses Ufer floh vor ihren Augen; es war die erhitzte Luft der Ebene, welche das Ansehen von Wasser hatte und welche das Spiegelbild des Himmels und aller erhabenen Gegenstände der Erde zeigte. Die Gelehrten, welche die Expedition begleiteten, waren ebenfalls, wie das ganze Heer, getäuscht; aber die Täuschung war von kurzer Dauer. Monge entdeckte auf der Stelle die wahre Ursache.

Bei starker Sonnenhitze und ruhiger Luft ist es möglich, daß die unteren Luftschichten, welche, von dem Boden erhitzt, eine geringere Dichtigkeit besitzen als die höheren kälteren, ruhig auf dem Boden ausgebreitet bleiben und nicht aufsteigen. Dies vorausgesetzt, sey ab, Fig. 575, der horizontale Boden, h irgend ein erhabener Punkt. Wir wollen nun untersuchen, auf welche Weise das Licht von h in das Auge des in p befindlichen Beobachters gelangen kann. Zunächst ist klar, daß das Auge ein directes Bild des Punktes h in der Richtung ph sieht; die Strahlen werden zwar nicht in einer absolut geraden Linie von h nach p gelangen, weil die Luft nicht überall gleiche Dichtigkeit hat, sie werden aber doch nur eine unbedeutende Ablenkung erleiden, wodurch höchstens einige Unregelmäßigkeit in den Contouren des directen Bildes entstehen kann.

Unter den Strahlen, welche der Punkt h nach allen Richtungen aussendet, sind aber auch solche, welche den Weg $hilmnp$ verfolgen und welche also in der Richtung pz ein verkehrtes Bild des Gegenstandes geben. In der That wird der Strahl hi, wenn er auf die weniger dichte Luftschicht c trifft, so gebrochen

werden, daß er sich vom Einfallslothe entfernt; ebenso wird er sich wieder vom Einfallslothe entfernen, wenn er auf die nächste, abermals weniger dichte Luftschicht trifft u. s. w. So wird denn die Richtung der Strahlen immer schrä-

Fig. 575.



ger, bis sie endlich aus der Schicht, in welcher sie sich befinden, nicht mehr in eine noch dünnere übergehen können; sie werden reflectirt und gelangen in der Richtung mnp in das Auge.

In unserer Figur ist der Weg der Strahlen als eine gebrochene Linie gezeichnet worden; da aber die Dichtigkeit der Luftschichten nach dem Boden hin allmälig abnimmt, so werden auch die Strahlen allmälig abgelenkt werden und eine krumme, nicht eine gebrochene Linie bilden.

Dies ist die Erklärung, welche Monge von diesen Luftbildern gegeben und in den Mémoires de l'Institut d'Égypte bekannt gemacht hat.

Der folgende Versuch mag dienen, diese Erklärung zu erläutern, obgleich er nur eine schwache Nachahmung der Luftspiegelung ist. Es sey cc, Fig. 576, ein Kasten von Eisenblech, ungefähr 1 Meter lang, 14 bis 18 Centimeter hoch und breit; er wird mit glühenden Kohlen gefüllt und ungefähr in die

Fig. 576.



Höhe des Auges gebracht. Wenn man nun oben über den Kasten hinsieht, so erblickt man in der Richtung pm das directe, in der Richtung pm' aber

das verkehrte Bild eines entfernten Visirpunktes *m*. An den Seitenwänden des Kastens kann man dieselbe Erscheinung beobachten.

Wollaston hat noch einen anderen Versuch ausgesonnen, um solche Bilder in Flüssigkeiten hervorzubringen. Man gieße in ein rundes oder viereckiges Gefäß von Krystallglas zwei passende Flüssigkeiten über einander, welche ungleiche Dichtigkeit haben und welche sich an der Gränzfläche allmälig mit einander verbinden, wie Wasser und Schwefelsäure, Wasser und Weingeist, Wasser und Zuckersyrup u. s. w.; sieht man über die Gränzfläche hinweg, etwa nach einer auf die Außenseite des Glases gemalten Schrift, so sieht man von derselben ein aufrechtes und ein verkehrtes Bild.

Auch an anderen Orten und unter anderen Umständen werden oft Luftbilder beobachtet. So beobachtete z. B. Vince in Ramsgate eine merkwürdige Wirkung von Luftspiegelung. Wenn man von Ramsgate nach der Küste von Dover hinsieht, so erblickt man bei schönem Wetter die Spitzen der vier höchsten Thürme des Schlosses zu Dover. Der Rest des Gebäudes ist hinter einem Bergrücken verborgen, welcher ungefähr 12 englische Meilen weit vom Beobachter entfernt ist. Am 6. August 1806, Abends gegen 7 Uhr, war Vince sehr erstaunt, nicht allein die vier Thürme, sondern das ganze Schloß bis zum Boden zu erblicken. Dies war offenbar eine Wirkung der atmosphärischen Refraction. Wegen der sehr ungleichen Erwärmung und Dichtigkeit waren die Luftstrahlen in krummer Linie in's Auge gelangt.

Derselbe Physiker hat noch ähnliche Erscheinungen beobachtet und bekannt gemacht, besonders, indem er mit einem guten Teleskope die sich nähernden und entfernenden Schiffe betrachtete; so sah er z. B. eines Tages ein Schiff gerade am Horizonte; er konnte es ganz deutlich unterscheiden. Zu gleicher Zeit sah er aber auch gerade über demselben ein ganz regelmäßiges, umgekehrtes Bild, so daß die Spitzen der Masten des directen und des verkehrten Bildes zusammenstießen, wie dies Fig. 577 dargestellt ist. Ein anderes Mal sah er von einem

Fig. 577.

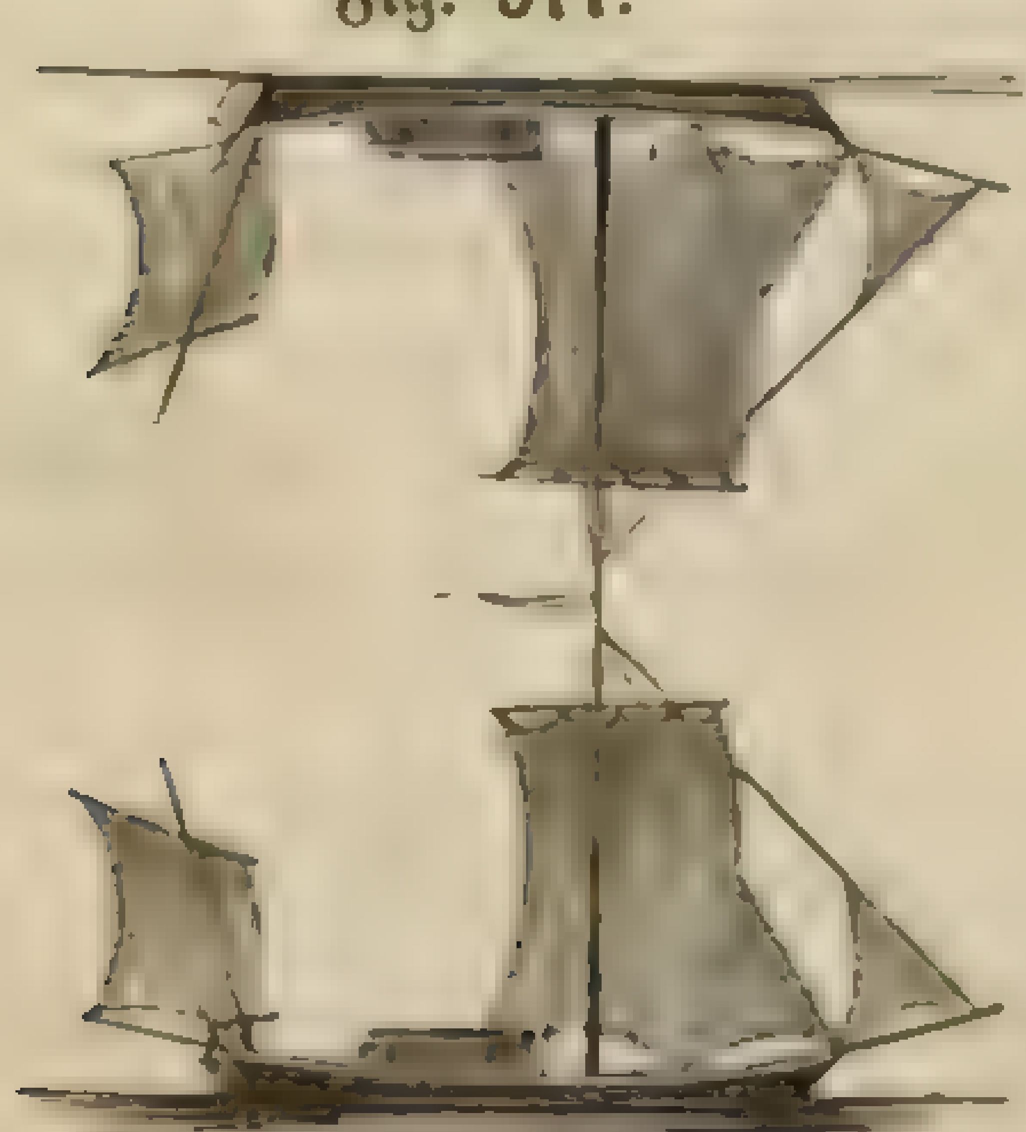
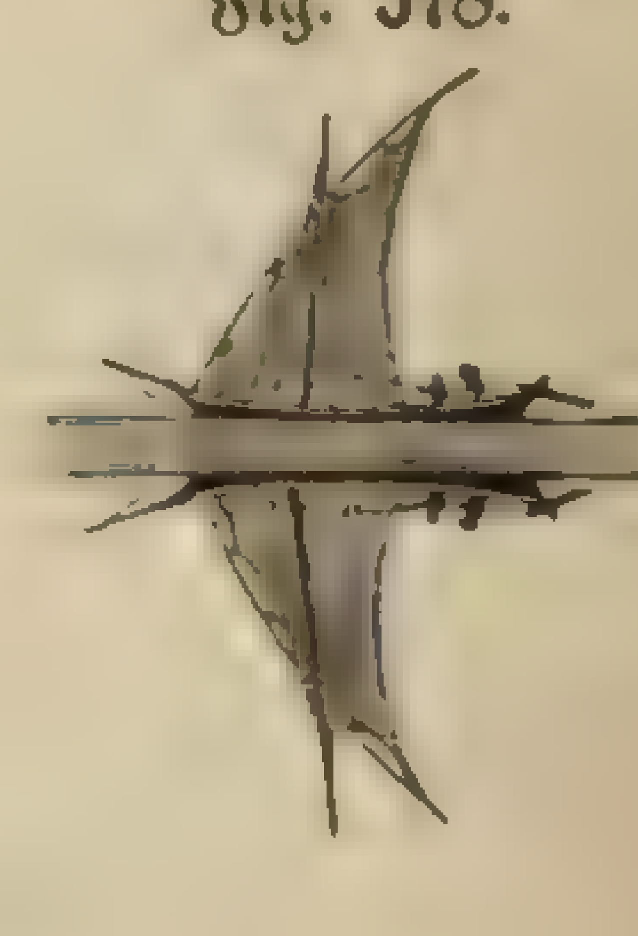


Fig. 578.



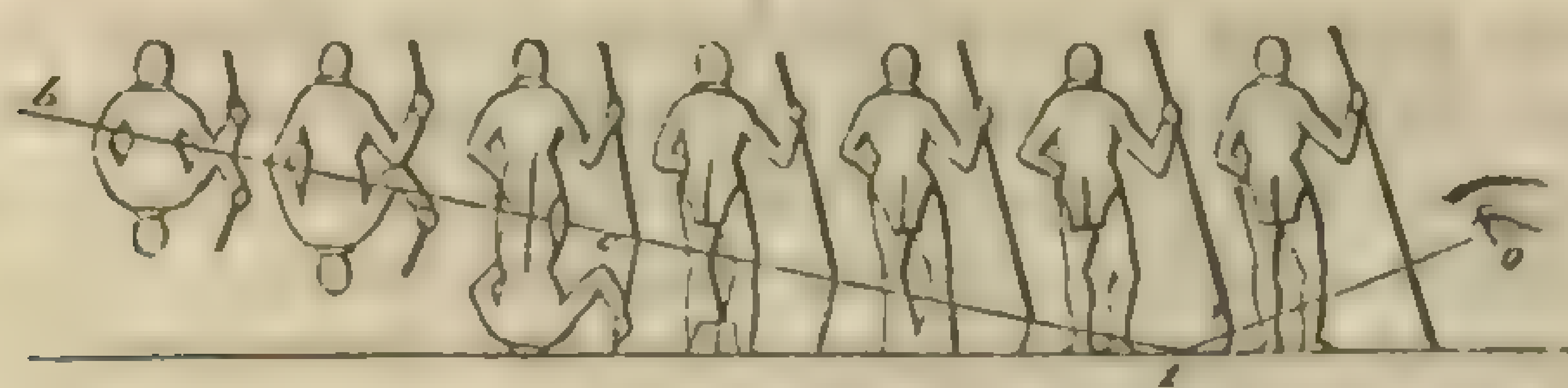
Schiffe, dessen Masten erst über dem Horizonte waren, zwei vollständige Bilder, Fig. 578, ein aufrechtes und ein verkehrtes.

Solche Erscheinungen der ungewöhnlichen Brechung und Luftspiegelung,

welche auf dem Meere öfter beobachtet werden, sind unter dem Namen der Erhebung oder des Seegesichtes bekannt. Scoresby hatte in den grönländischen Meeren häufig Gelegenheit, sie wahrzunehmen. Bald sah er entfernte Schiffe in verticaler Richtung verlängert oder zusammengedrückt, bald sah er doppelte Bilder, ein aufrechtes und ein verkehrtes, von Schiffen, welche in einer Entfernung von 30 Seemeilen, also noch vollständig unter dem Horizonte waren. Alle diese Erscheinungen rühren nur von der ungleichen Temperatur und Dichtigkeit der verschiedenen Luftschichten her.

Biot und Mathieu haben bei Dünkirchen am Ufer des Meeres auf einer sandigen Ebene, welche sich bis zum Fort Risban erstreckt, ähnliche Erscheinungen beobachtet, und Biot hat eine vollständige Erklärung derselben gegeben. Er hat gezeigt, daß unter gewissen Umständen von einem Punkte t, Fig. 579, aus, welcher sich in einiger Entfernung von dem Beobachter befindet, man sich eine Linie tcb gezogen denken kann, so daß alle Gegenstände,

Fig. 579.



welche sich unter derselben befinden, unsichtbar bleiben, während man von den Gegenständen, welche sich bis zu einer gewissen Höhe über derselben befinden, zwei Bilder sieht, ein directes über und ein verkehrtes unter dieser Linie. Ein Mensch also, welcher sich allmälig von dem Beobachter entfernt, wird der Reihe nach die verschiedenen in Fig. 579 dargestellten Erscheinungen geben.

In allen bisher betrachteten Fällen waren die Bilder über oder unter dem Gegenstande selbst. Im September 1818 beobachteten Soret und Jurine auf dem Genfersee ein Luftbild, welches seitwärts vom Gegenstande lag; sie befanden sich am Ufer des Sees im zweiten Stocke von Jurine's Hause und sahen mit dem Fernrohre in der Richtung gp, Fig. 580, nach einem Schiffe, welches sich in einer Entfernung von zwei Meilen dem Vorgebirge Belle Rive gegenüber befand und nach Genf segelte. Während das Schiff allmälig nach q, r und s kam, sahen sie ein deutli-

Fig. 580.



ches Bild zur Seite in q', r', s', welches sich wie das Schiff selber näherte, während die Entfernung des Schiffes und seines Bildes größer wurde. Wenn die Sonne die Segel beleuchtete, war das Bild so hell, daß man es mit bloßen Augen sehen konnte.

Diese Erscheinung erklärt sich dadurch, daß die Luft über dem See am östlichen Ufer $a\ b\ c$ des Morgens noch einige Zeit im Schatten war, während sie weiter links schon durch die Sonne erwärmt wurde; so konnte die Trennungsfläche der warmen und kalten Luft bis zu einer geringen Höhe über dem Wasser vertical seyn.

Diese Beispiele mögen hinreichen, um eine Idee von den mannigfaltigen und oft bizarren Erscheinungen zu geben, welche durch die außergewöhnliche Brechung des Lichts in aneinander gränzenden Luftschichten von sehr verschiedener Dichtigkeit hervorgebracht werden. Wir haben bisher angenommen, daß diese Luftschichten in ebenen Flächen an einander gränzen; wenn dies aber nicht der Fall ist, wenn die Gränzflächen gekrümmt und unregelmäßig sind, so erscheinen die Bilder verzerrt. Es ist nicht zu bezweifeln, daß die unter dem Namen Fata Morgana bekannten Erscheinungen eine Wirkung der Luftspiegelung sind. Sie werden zu Neapel, zu Reggio und an den Küsten von Sicilien beobachtet. Auf einmal sieht man in großer Entfernung in den Lüften Ruinen, Säulen, Schlösser, Paläste, kurz eine Menge von Gegenständen, deren Anblick sich fortwährend ändert. Das Volk strömt dann dem Ufer zu, um dieses sonderbare Schauspiel anzusehen. Diese feenhafte Erscheinung beruht darin, daß Gegenstände sichtbar werden, die man bei dem gewöhnlichen Zustande der Atmosphäre nicht sehen kann und welche zerrissen, verzerrt und in fortwährender Bewegung zu seyn scheinen, weil die ungleich dichten Luftschichten in steter Bewegung sind.

247 **Der Regenbogen.** Es ist allgemein bekannt, daß man einen Regenbogen sieht, wenn man eine regnende Wolke vor sich und die Sonne im Rücken hat. Der Regenbogen bildet gleichsam die Basis eines Kegels, dessen Spitze das Auge bildet und dessen Axe mit der geraden Linie zusammenfällt, welche man durch die Sonne und das Auge legen kann. Unter den eben angegebenen Bedingungen erscheint auch der Regenbogen in dem Staubregen der Wasserfälle und Springbrunnen.

Fig. 581.



Um den Regenbogen zu erklären, muß man den Weg der Sonnenstrahlen durch die Regentropfen verfolgen.

Wenn ein Sonnenstrahl SA, Fig. 581, einen Regentropfen trifft, so wird er gebrochen, und es ist leicht, die Richtung des gebrochenen Strahls AB zu berechnen oder zu construiren. Bezeichnet man den Einfallswinkel mit i, den Brechungswinkel mit r, so ist $\sin. i = 1{,}33 \sin r$, weil 1,33 der Brechungsexponent für

Wasser ist. In B wird der Strahl theils gebrochen, theils gespiegelt, der gespiegelte trifft in C von Neuem die Oberfläche des Tropfens und wird in der Richtung CO gebrochen. Verlängert man die Linien SA und OC, so schneiden sie sich in N. Der Winkel ANC, den wir mit d bezeichnen wollen, ist der Winkel, welchen der austretende Sonnenstrahl mit dem einfallenden macht, und die Größe dieses Winkels soll zunächst bestimmt werden. Ziehen wir in dem Punkte B, in welchem der Strahl gespiegelt wird, das Einfallsloth BN, so ist der Winkel $BNA = \frac{1}{2} d$. Der Winkel PMA ist, wie leicht einzusehen, $= 2r$ (als Außenwinkel des Dreiecks MBA), und da $2r$ ein Außenwinkel des Dreiecks MAN ist, so haben wir

$$\frac{1}{2} d = 2r - i;$$

denn der Winkel MAN ist gleich i. Daraus folgt aber

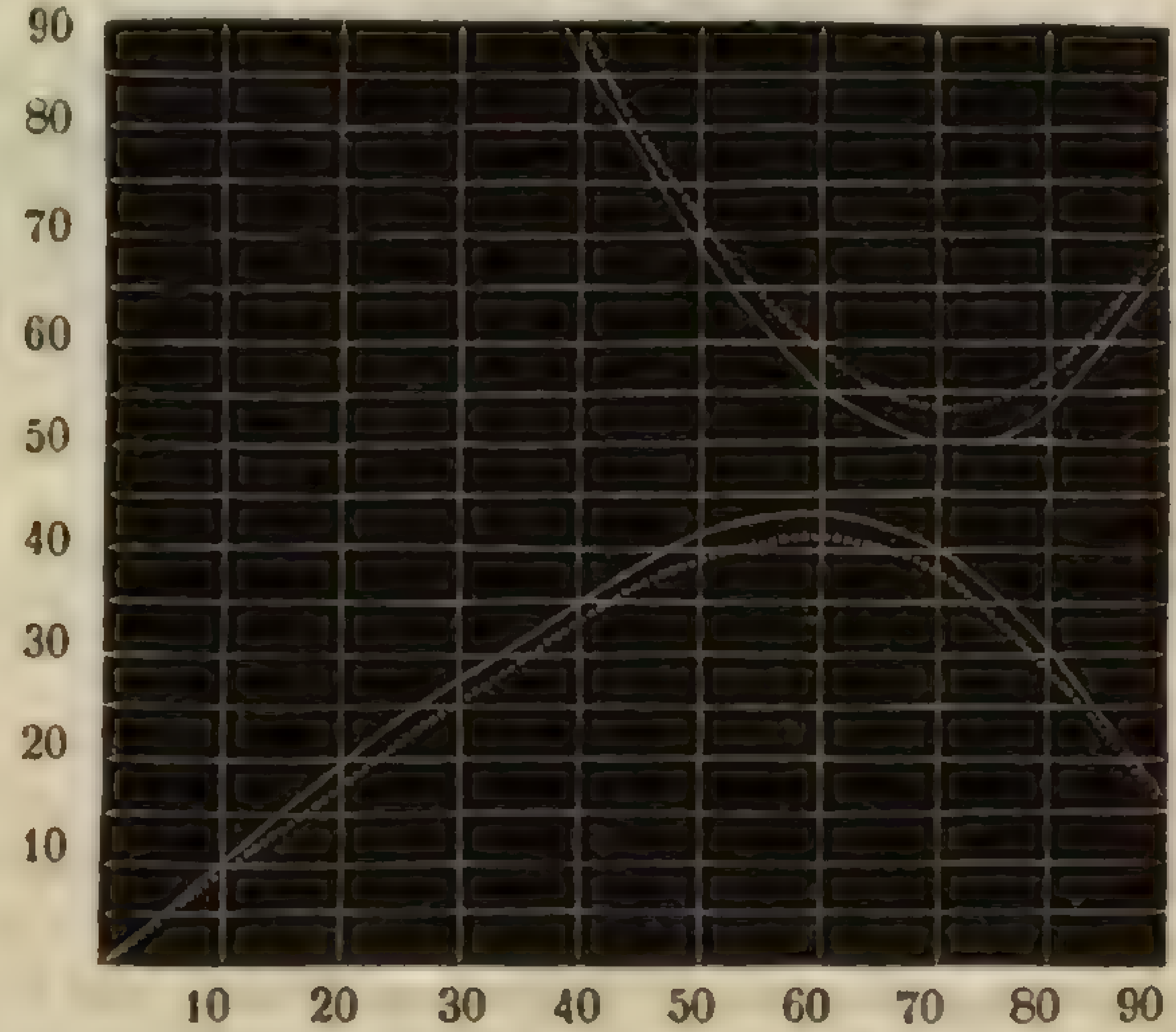
$$d = 4r - 2i \quad . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \quad (1).$$

Dieser Werth von d zeigt, daß der Winkel der eintretenden und austretenden Sonnenstrahlen mit der Größe des Einfallswinkels sich ändert; denn von i hängt r und von beiden hängt d ab. Je nachdem also die unter sich parallel eintretenden Sonnenstrahlen in verschiedenen Punkten den Regentropfen treffen, erleiden sie auch nach zweimaliger Brechung und einmaliger Spiegelung verschiedene Ablenkungen. Der einfallende Strahl, dessen Verlängerung durch den Mittelpunkt des Tropfens geht, erleidet gar keine Ablenkung, denn für diesen Strahl ist $i = 0$; wenn aber $i = 0$, so ist auch r und d gleich Null. Je mehr nun der Einfallspunkt nach A hinrückt, desto größer wird i, und die stetige Veränderung von i hat auch eine stetige Veränderung von d zur Folge. Es ist leicht, zu jedem i das zugehörige r und dann das zugehörige d nach Gleichung (1) zu berechnen, wie es in folgender Tabelle für einige Werthe von i geschehen ist.

i	r	d
10°	7° 30′	10°
20°	14° 54′	19° 36′
30°	22° 5′	28° 20′
40°	28° 54′	35° 36′
50°	35° 10′	40° 40′
60°	40° 37′	42° 28′
70°	44° 57′	39° 48′
80°	47° 46′	31° 4′
90°	48° 45′	15°.

Nach dieser Tabelle ist die ausgezogene der beiden unteren Curven, Fig. 582, construirt, welche das Verhältniß anschaulich macht, in welchem der Einfalls-

Fig. 582.



winkel i zur Ablenkung d steht. Die verschiedenen Werthe von i sind als Abscissen, die zugehörigen Werthe von d als Ordinaten aufgetragen. Man übersieht aus dieser Figur sehr deutlich, wie mit zunehmendem Werthe von i auch die Ablenkung wächst, bis sie ein Maximum erreicht, wenn i gegen 58 bis 59° ist. Wächst i noch mehr, so nimmt die Ablenkung wieder ab.

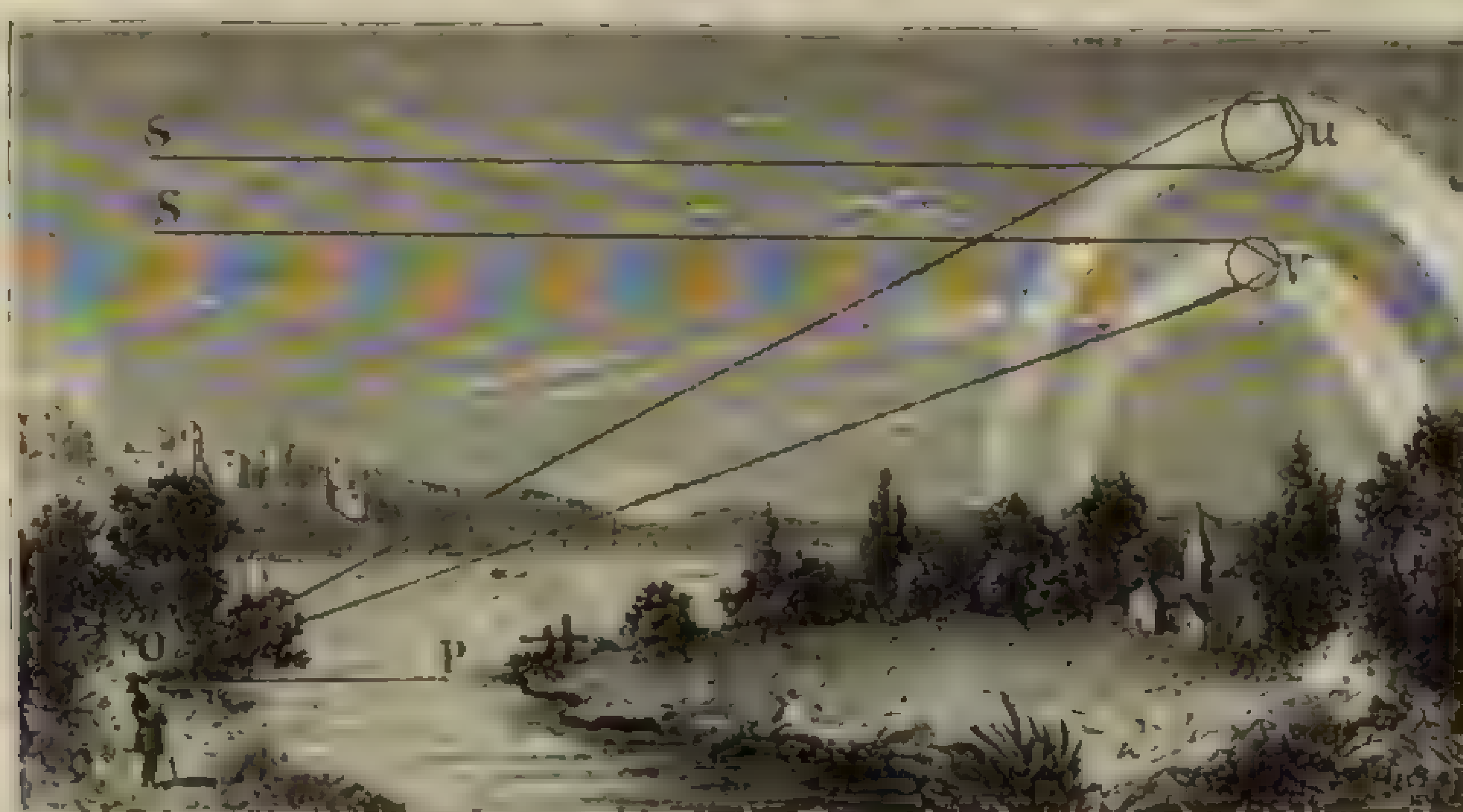
Aus dem eben Gesagten folgt nun unmittelbar, daß die parallel auf den Tropfen fallenden Sonnenstrahlen, die wir bisher betrachtet haben, nach ihrem Austritte aus dem Tropfen divergiren. Es ist begreiflich, daß durch diese Divergenz der aus dem Tropfen kommenden Strahlen die Stärke des Lichteindrucks, den sie hervorbringen, ganz außerordentlich geschwächt wird, namentlich, wenn die Tropfen in einer nur etwas bedeutenden Entfernung vom Auge sich befinden. Unter allen aus dem Tropfen nach zweimaliger Brechung und einmaliger Spiegelung in's Auge kommenden Strahlen können demnach nur diejenigen einen merklichen Lichteindruck machen, für welche diese Divergenz ein Minimum ist, oder, mit anderen Worten, nur diejenigen, welche sehr nahe parallel austreten.

Suchen wir nun in der Curve ABC, Fig. 582, diejenige Stelle, wo bei gleichmäßiger Veränderung der Abscissen i die Ablenkung sich verhältnißmäßig am wenigsten ändert, so finden wir, daß dies der Fall ist, wenn die Ablenkung ein Maximum ist; denn an dieser Stelle ist die Curve fast horizontal. Für alle Einfallswinkel i, welche selbst einige Grade größer und kleiner sind als 59°, ist die Ablenkung fast ganz dieselbe, sie beträgt sehr nahe 42° 30′;

eine ziemliche Menge parallel einfallender Sonnenstrahlen verläßt also den Tropfen fast in derselben Richtung, nachdem sie eine Ablenkung von sehr nahe 42° 30′ erlitten haben; und diese Strahlen werden unter allen aus dem Tropfen kommenden allein einen merklichen Lichteindruck hervorbringen können.

Man denke sich durch die Sonne und das Auge des Beobachters eine gerade Linie op, Fig. 583, gezogen, und durch dieselbe eine Verticalebene gelegt.

Fig. 583.



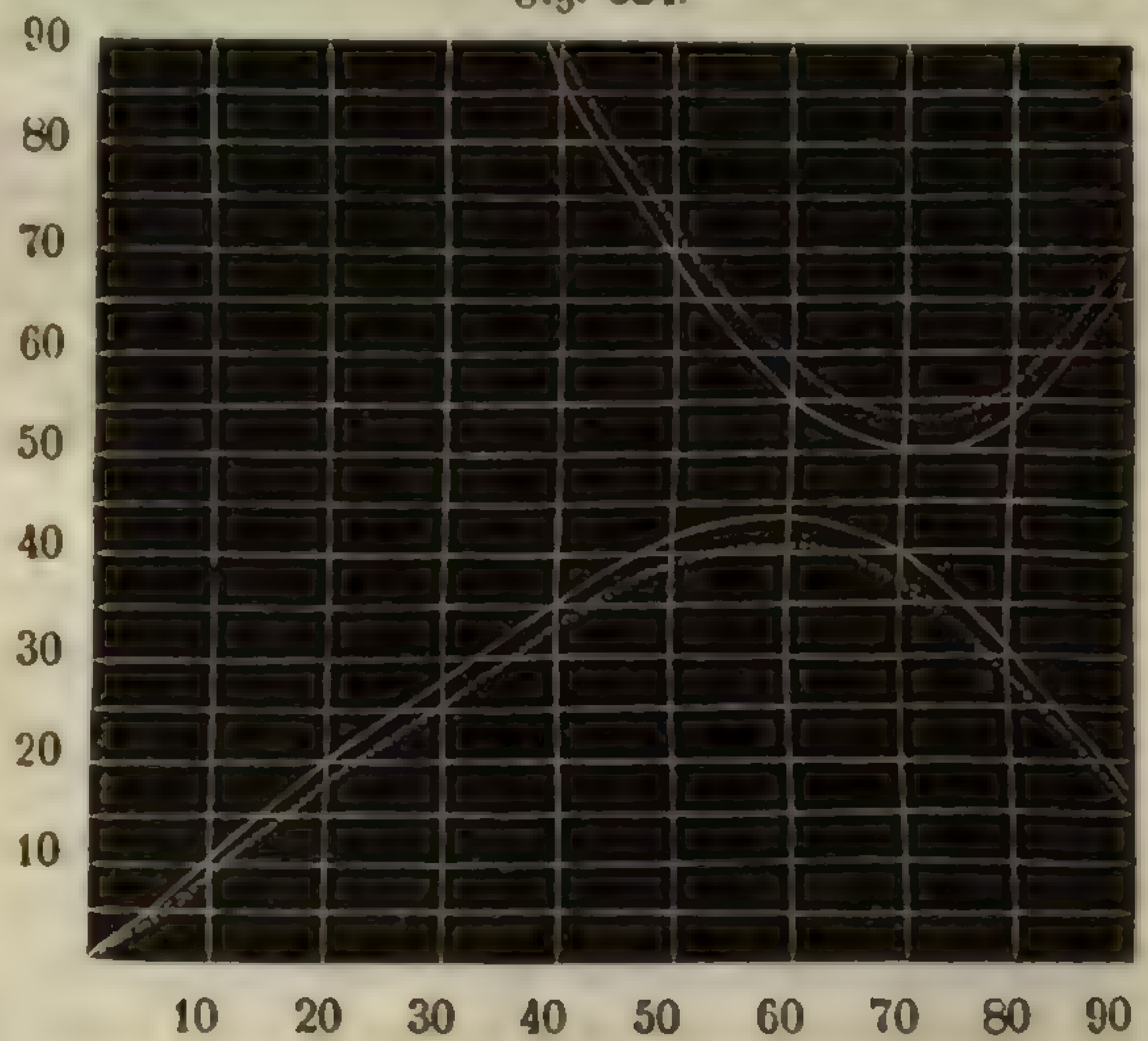
Man ziehe ferner durch o eine Linie ov, so daß der Winkel $pov = 42°30'$, so werden nach dieser Richtung hin sich befindende Regentropfen nach einmaliger innerer Spiegelung wirksame Strahlen in's Auge senden. Jedoch nicht allein in dieser Richtung empfängt das Auge wirksame Strahlen, sondern, wie leicht begreiflich, von allen Regentropfen, die in der Kegeloberfläche liegen, die durch Umdrehung der Linie ov um die Axe op entsteht; das Auge wird also einen lichten Kreis sehen, dessen Mittelpunkt auf der von der Sonne durch das Auge gezogenen Geraden liegt und dessen Halbmesser unter einem Winkel von 42° 30′ erscheint.

Bei der obigen Betrachtung wurde 1,33 als Brechungsexponent in Rechnung gebracht. Es ist dies aber nur der Brechungsexponent der rothen Strahlen, das Auge sieht also in der erwähnten Richtung einen rothen Kreis, der als ein rother Ring von 30′ Breite erscheint, weil die Sonne nicht ein Punkt, sondern eine Scheibe ist, die den scheinbaren Durchmesser 30′ hat. Für violette Strahlen ist der Brechungsexponent 1,34, und daraus ergeben sich folgende zusammengehörige Werthe von i und d.

i	d	i	d
0	0	50°	39°
10°	9° 40′	60°	40° 28′
20°	18° 57′	70°	37° 28′
30°	27° 22′	80°	28° 28′
40°	34° 20′	90°	12° 18′.

Nach diesen Zahlen ist die unterste Curve, Fig. 584, construirt. Das Maximum der Ablenkung, welches die violetten Strahlen nach einmaliger innerer Spiegelung im Tropfen erleiden, ist demnach nahe 40° 30′; dies ist also die Richtung, in welcher die wirksamen violetten Strahlen austreten, es wird also concentrisch mit dem rothen ein violetter Kreisbogen von geringerem Halbmesser sichtbar seyn, welcher gleichfalls eine Breite von 30′ hat.

Fig. 584.



Zwischen diesen äußersten Bogen erscheinen die der übrigen prismatischen Farben, und so bildet also gewissermaßen der Regenbogen, *ein zu einem kreisförmigen* Bogen ausgedehntes Spectrum. Die ganze Breite des Regenbogens beträgt ungefähr 2°, da ja der Halbmesser des rothen Bogens um 2° größer ist als der des violetten.

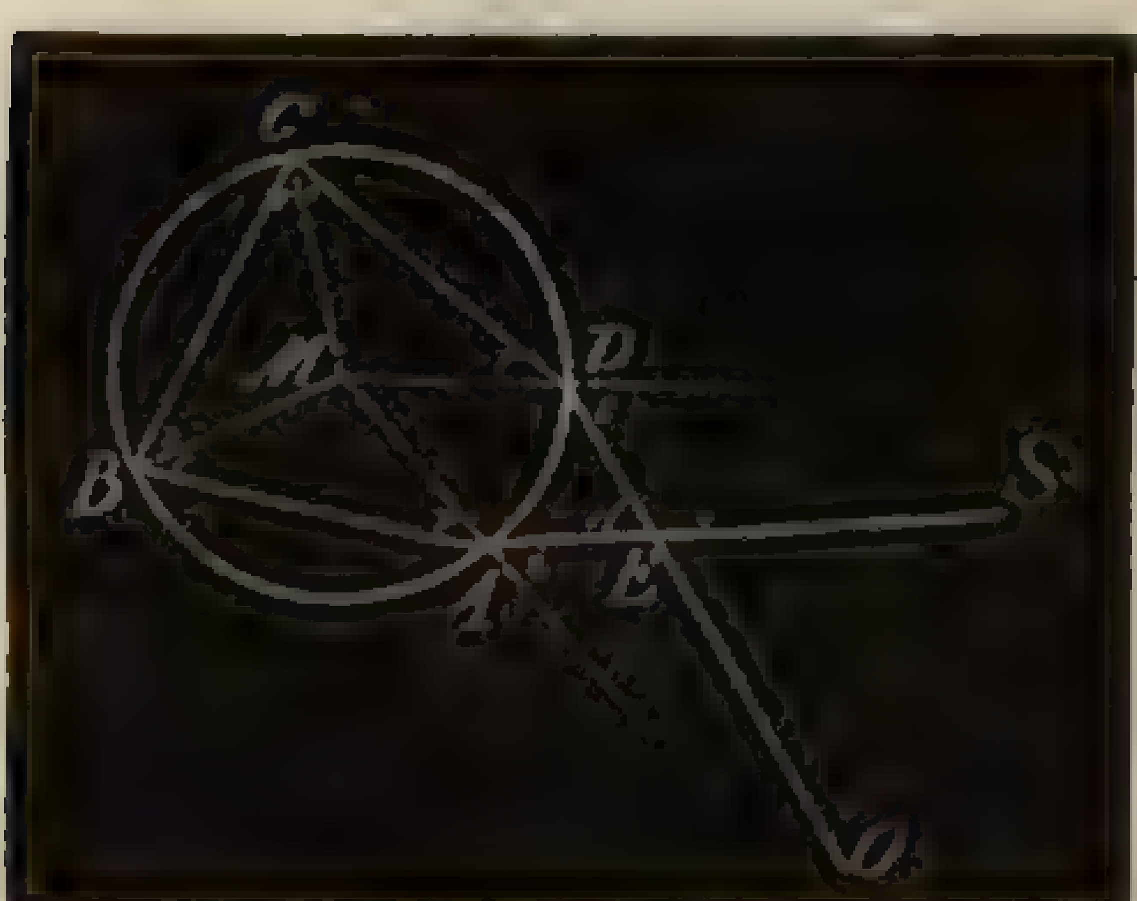
Was die Ausdehnung des farbigen Bogens betrifft, so hängt sie offenbar von der Höhe der Sonne über dem Horizonte ab. Wenn die Sonne eben untergeht, erscheint der Regenbogen im Osten, der Mittelpunkt des Bogens liegt dann gerade im Horizonte, weil die durch die Sonne und das Auge gezogene Linie eine horizontale ist; wenn der Beobachter in der Ebene steht, so bildet der Regenbogen gerade einen Halbkreis, er kann aber mehr als einen Halbkreis übersehen, wenn er auf einer isolirten Bergspitze von geringer Breite steht. Bei Sonnenaufgang erscheint der Regenbogen im Westen. Je höher

die Sonne steigt, desto tiefer liegt der Mittelpunkt des farbigen Bogens unter dem Horizonte, desto kleiner ist also das dem Auge sichtbare Bogenstück. Wenn die Sonne 42° 30′ hoch steht, ist für einen in der Ebene stehenden Beobachter gar kein Regenbogen mehr sichtbar, weil alsdann der Gipfel desselben gerade in den Horizont, der ganze Bogen also unter den Horizont fallen würde. Von den Masten der Schiffe sieht man oft Regenbogen, welche einen ganzen Kreis bilden; solche ganz kreisförmige Regenbogen sieht man auch oft an Wasserfällen und Springbrunnen.

Außer dem eben besprochenen Regenbogen sieht man gewöhnlich noch einen zweiten größeren, mit dem ersteren concentrischen, bei welchem die Ordnung der Farben die umgekehrte ist; beim äußeren Regenbogen ist nämlich das Roth innen, das Violett außen. Der äußere Regenbogen ist weit weniger lichtstark als der innere, er erscheint weit blasser. Man hatte früher die irrige Ansicht, der zweite Regenbogen sey gleichsam ein Spiegelbild des ersten. Die Entstehung des äußeren Regenbogens beruht auf denselben Principien wie die des inneren, er entsteht durch Sonnenstrahlen, welche in den Regentropfen eine zweimalige Brechung und eine **zweimalige innere Reflexion** erlitten haben.

In Fig. 585 ist der Gang eines Lichtstrahles dargestellt, welchen derselbe im Regentropfen nimmt, um ihn nach zweimaliger innerer Spiegelung zu verlassen. SA ist der einfallende Sonnenstrahl, welcher nach AB gebrochen, dann in B und C gespiegelt wird und bei D in der Richtung DO wieder austritt. In diesem Falle schneiden sich der einfallende und der austretende Strahl und bilden einen Winkel d mit einander, dessen Größe veränderlich ist, je nachdem der einfallende Strahl den Tropfen an einer anderen Stelle, also unter einem anderen Einfallswinkel, trifft. Suchen wir nun den Werth des Ablenkungswinkels d zu ermitteln.

Fig. 585.



Die Summe aller Eckwinkel des Fünfecks $ABCDE$ beträgt, wie dies bei jedem Fünfeck der Fall ist, 6 rechte oder 540°. Um den Winkel d zu finden, haben wir also nur von 540° die Eckwinkel bei A, B, C und D abzuziehen; jeder der Eckwinkel bei B und C beträgt $2r$, zusammen machen sie also $4r$ aus; der Winkel bei D sowohl als der bei A ist aber gleich $r +$ dem Winkel MDE, für den Winkel MDE können wir aber seinen Werth $180 - i$ setzen, folglich ist der Winkel CDE gleich $r + 180 - i$, die beiden Eckwinkel bei A und D sind also zusammen $2r + 360 - 2i$; zieht man nun von 540° die beiden Eckwinkel bei B und C, also $4r$, und die beiden Eckwinkel bei A und D, also $2r + 360 - 2i$ ab, so kommt:

$$d = 540 - 4r - (2r + 360 - 2i)$$

oder

$$d = 180^0 + 2i - 6r.$$

Nach dieser Formel ergeben sich folgende zusammengehörige Werthe des Einfallswinkels von i und des Ablenkungswinkels d für violettes und rothes Licht.

Einfallswinkel	Ablenkungswinkel	
	für Roth	für Violett
0	180°	180°
40	86° 36′	88° 0′
60	56° 18′	58° 24′
70	50° 18′	53° 24′
80	43° 24′	56° 12′
90	68° 30′	70° 18′.

Wenn ein rechtwinklig einfallender Strahl, an der Rückwand des Regentropfens reflectirt, die Vorderfläche wieder trifft, so tritt er zum Theil in der Richtung wieder aus, in der er gekommen war, der Winkel des eintretenden und austretenden Strahls ist für diesen Fall einmaliger innerer Spiegelung gleich Null; zum Theil erleidet er aber an der Vorderwand eine zweite Reflexion und tritt dann in einer Richtung aus, welche die Verlängerung des einfallenden Strahls bildet; die Ablenkung ist alsdann 180°. Trifft der einfallende Strahl nicht rechtwinklig auf den Tropfen, so nimmt die Totalablenkung nach zweimaliger innerer Spiegelung ab, wenn der Einfallswinkel wächst. Für einen Einfallswinkel von ungefähr 71° ist die Ablenkung ein Minimum, und zwar beträgt sie für die rothen Strahlen ungefähr 50°, für violette nahe $53^1/_2$°. Für noch größere Einfallswinkel nimmt die Ablenkung wieder ab.

Nach den Zahlen der letzten Tabelle sind die beiden oberen Curven der Fig. 584 construirt, und zwar gilt die ausgezogene für die rothen, die punktirte für die violetten Strahlen. Man sieht aus dem Anblick der Figur, daß in der Nähe des Minimums der Ablenkung eine kleine Veränderung des Einfallswinkels keine bedeutende Veränderung in der Ablenkung hervorbringt, daß also in der Richtung der kleinsten Ablenkung ein Bündel ziemlich paralleler Strahlen austritt, und diese Strahlen sind die einzigen unter allen, welche, den Tropfen nach zweimaliger innerer Spiegelung verlassend, einen merklichen Lichteindruck hervorbringen können. Aus der für den ersten Regenbogen entwickelten Schlußweise ergiebt sich, daß man unter den geeigneten Umständen einen rothen Bogen sehen wird, dessen Halbmesser unter einem Winkel von 50°, und einen violetten, dessen Radius unter einem Winkel von $53^1/_2$° erscheint. Die Breite des zweiten Regenbogens beträgt also ungefähr $3^1/_2$°.

In Fig. 584 stellt der Höhenunterschied der beiden concaven Gipfel der oberen Curven die Breite des äußeren Regenbogens, die Höhendifferenz der gegen einander gekehrten Gipfel der beiden ausgezogenen Curven die Breite des Zwischenraums zwischen den beiden Regenbogen dar, welche ungefähr $7^1/_2$° beträgt.

Der äußere Regenbogen ist blasser, weil er durch Strahlen gebildet wird,

welche eine zweimalige innere Spiegelung erlitten haben, da das Licht bei jeder Spiegelung eine Schwächung erleidet. Man würde noch einen dritten und einen vierten Regenbogen sehen können, welche durch Strahlen gebildet werden, die eine dreimalige und eine viermalige innere Spiegelung erlitten haben, wenn diese Strahlen nicht zu lichtschwach wären.

Höfe und Nebensonnen. Oft sieht man, wenn der Himmel mit einem 248
leichten Wolkenschleier überzogen ist, dicht um die Sonne und den Mond farbige Ringe. Sehr häufig sieht man diese Ringe nicht vollständig, sondern nur stückweise. Wenn man die Mondhöfe häufiger beobachtet als die Sonnenhöfe, so liegt der Grund darin, daß das Licht der Sonne zu blendend ist; man sieht aber diese auch, sobald man das Bild der Sonne in ruhigem Wasser oder in einem auf der Rückseite geschwärzten Spiegel betrachtet.

Diese Höfe haben die größte Aehnlichkeit mit der Glorie, welche man um eine Kerzenflamme sieht, wenn man sie durch eine mit Semen lycopodii bestreute Glasplatte betrachtet (Bd. I. S. 528), und sicherlich sind die Höfe ebenso wie dieses Phänomen zu den Interferenzerscheinungen zu zählen; die Dunstbläschen vertreten die Stelle der feinen Staubtheilchen.

Bisweilen sieht man auch noch zwei größere farbige Kreise um die Sonne und den Mond, welche mit den Höfen nicht zu verwechseln sind; der Halbmesser des kleineren dieser hellen Ringe erscheint unter einem Winkel von 22 bis 23°, der des größeren aber unter einem Winkel von 46 bis 47°; das Roth ist bei denselben nach innen gekehrt, der innere Rand ist schärfer, der äußere mehr verschwommen und weniger deutlich gefärbt. Selten erscheinen die beiden Kreise zu gleicher Zeit. Fig. 586 (s. f. S.) stellt die Erscheinung dar, wie man sie wohl am häufigsten zu beobachten Gelegenheit hat; es ist nämlich der kleinere Ring von 22 bis 23° Radius; er ist durch einen horizontalen lichten Streifen durchschnitten, welcher sich oft bis zur Sonne selbst erstreckt. Da, wo dieser Streifen den Lichtring durchschneidet, ist er am hellsten; diese hellen Stellen, welche man zu beiden Seiten der Sonne am äußeren Umfange des Ringes sieht, sind die N e b e n s o n n e n; bisweilen erscheint eine solche Nebensonne auch vertical über der Sonne im Gipfel des Ringes; oft erscheint hier aber auch ein Berührungsbogen, wie er in Fig. 586 dargestellt ist. Oft sieht man die Nebensonnen auch ohne die Ringe, oder die Ringe ohne die Nebensonnen. Diese Ringe und die Nebensonnen erscheinen ebenfalls nie bei ganz heiterem Himmel, sondern nur, wenn derselbe mit einem Schleier überzogen ist.

Die erwähnten Ringe hat schon M a r i o t t e durch eine Brechung des Lichts in den in der Luft schwebenden Eisnadeln erklärt; wenn die Eisnadeln sechsseitige Säulen sind, so bilden immer je zwei nicht parallele und nicht zusammenstoßende Seitenflächen einen Winkel von 60° mit einander, die Eisnadeln bilden also gewissermaßen gleichseitige, dreiseitige Prismen, für welche das Minimum der Ablenkung ungefähr 23° beträgt. Solche Strahlen nun, welche in den Eisnadeln das Minimum der Ablenkung erlitten haben, sind den wirk-

samen Strahlen des Regenbogens analog, weil viele Strahlen sehr nahe in derselben Richtung austreten. Diese Hypothese erklärt also zugleich die Bildung des Ringes, seine Größe und die Anordnung der Farben.

Fig. 586.



Der Ring von 46° erklärt sich durch die Annahme, daß die Axe der Prismen in der Weise schief steht, daß der rechte Winkel, welchen die Seitenflächen der Säule mit der Basis bilden, der brechende Winkel des Prismas wird. Für ein Eisprisma, dessen brechender Winkel 90° beträgt, ist in der That das Minimum der Ablenkung 46°.

Den Nebensonnenstreifen erklärt man durch die Reflexion der Sonnenstrahlen an den verticalen Flächen der Eisnadeln; er ist da am hellsten, wo er den Ring von 23° durchschneidet, weil hier zwei Ursachen stärkerer Erleuchtung zusammenwirken. Fraunhofer erklärt die Nebensonnenstreifen als Interferenzerscheinung. Am vollständigsten ist die Theorie der Höfe und Nebensonnen von Galle behandelt worden (Pogg. Ann. Bd. XLIX.).

249 **Irrlichter** nennt man gewöhnlich kleine Flämmchen, welche in sumpfigen Gegenden, Mooren, Kirchhöfen u. s. w., kurz an Orten, wo Fäulniß und Verwesung vor sich gehen, nicht hoch über dem Boden zum Vorschein kommen, eine hüpfende unruhige Bewegung zeigen und bald wieder verschwinden. Während man gewöhnlich von den Irrlichtern als von einer ganz bekannten und erklärten Erscheinung redet, so herrscht doch über dieses Phänomen noch große Ungewißheit, da es durchaus noch nicht genügend erklärt, ja das That-

sächliche selbst noch nicht genügend ermittelt ist, was wohl begreiflich wird, wenn man bedenkt, daß die meisten Personen, welche Irrlichter sahen, nicht im Stande waren, genau zu beobachten und das Gesehene vorurtheilsfrei zu erzählen.

Zu den wenigen ganz zuverlässigen Berichten über Irrlichter gehört derjenige, welchen Bessel bekannt gemacht hat (Pogg. Ann. Bd. XLIV.). Dieser Gelehrte beobachtete das Phänomen in der Gegend der großen Moore des Herzogthums Bremen. Er beschreibt die Irrlichter als Flämmchen, welche über einem an vielen Stellen mit stehendem Wasser bedeckten Grunde entstanden und, nachdem sie einige Zeit geleuchtet hatten, wieder verschwanden; sie waren von bläulicher Farbe, wie die Flamme des Wasserstoffgases und sehr lichtschwach, so daß der Grund, über welchem ein einzelnes Flämmchen brannte, nicht merklich erleuchtet war, und auch ihre oft große Zahl keine merkliche Helligkeit verbreitete. Oft blieben die Flämmchen in unveränderter Stellung; oft nahmen sie eine Bewegung in horizontaler Richtung an, welche gewöhnlich zahlreiche Gruppen derselben gleichzeitig erfuhren.

Volta meinte, die Irrlichter beständen aus Sumpfgas (Kohlenwasserstoffgas), welches durch einen elektrischen Funken entzündet würde. Aber woher soll der elektrische Funken kommen? Andere meinen, es sey Phosphorwasserstoffgas, welches sich entzündet, sobald es mit der atmosphärischen Luft in Berührung kommt; alsdann aber würde man einen momentanen von einer Verpuffung begleiteten Lichtblitz und nicht ein länger anhaltendes mattes Licht beobachten. Die wahrscheinlichste Ansicht ist noch die, daß die Irrlichter durch ein phosphorhaltiges Wasserstoffgas erzeugt werden, welches nicht eigentlich als Flamme verbrennt, sondern nur schwach phosphorescirt.

Das Zodiacallicht. Um die Zeit der Tag- und Nachtgleichen erscheint 250
manchmal kurz nach Sonnenuntergang am westlichen Horizonte ein schwacher Lichtstreifen, meist noch matter als das Licht der Milchstraße, welcher die Form einer schief auf dem Horizonte stehenden Pyramide hat.

Die Basis dieses unten breiter werdenden Lichtkegels erscheint ungefähr da, wo die Sonne untergegangen ist; die Axe desselben ist gegen die Stelle hin gerichtet, an welcher sich eben die schon untergegangene Sonne befindet; sie fällt fast ganz mit der Ebene des Sonnenäquators zusammen, der ganze Streifen fällt also am Himmel in den Thierkreis, da die Ebene des Sonnenäquators einen Winkel von 7° mit der Ebene der Ekliptik macht.

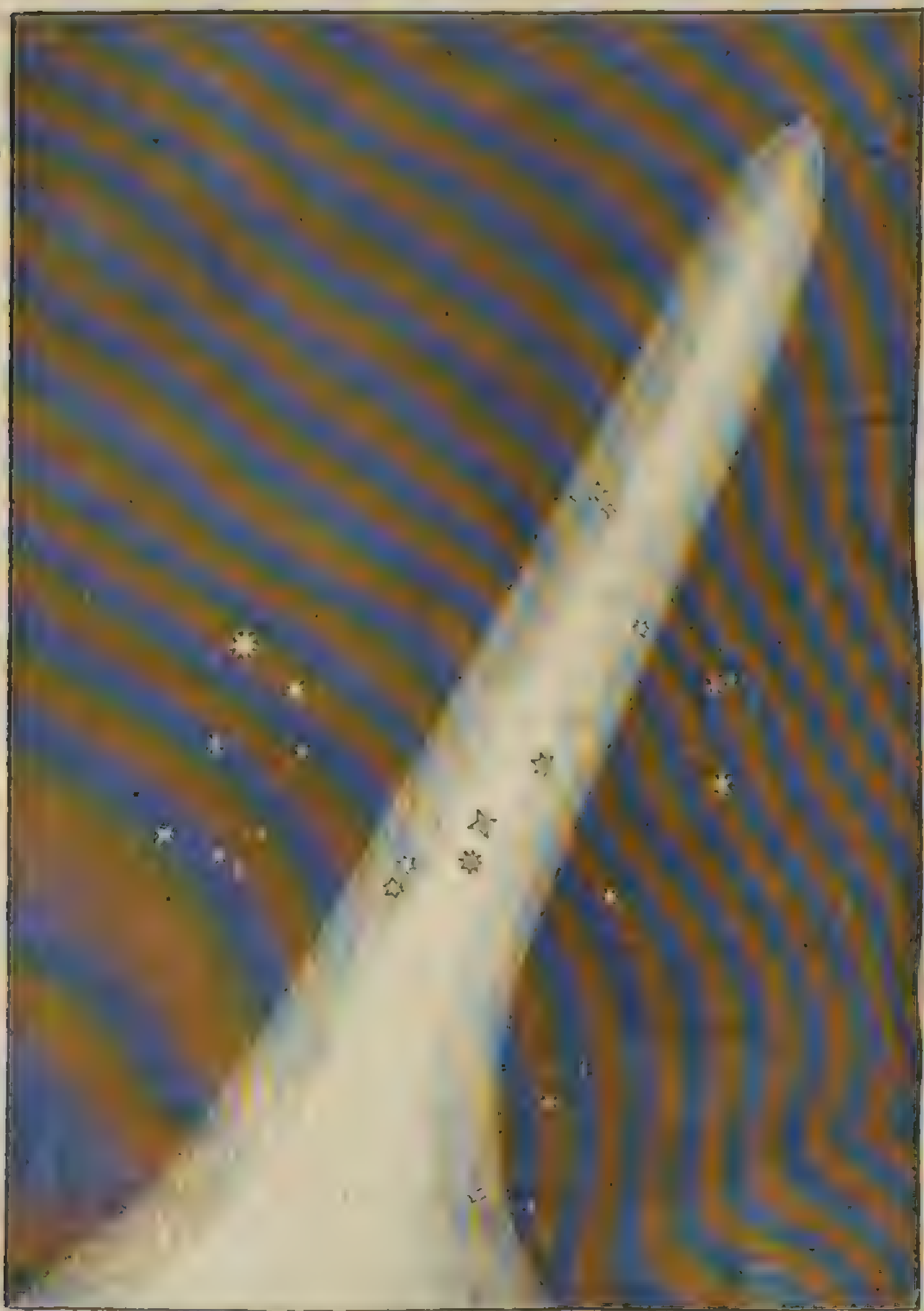
In unseren Gegenden bildet die Axe des Lichtkegels des Abends einen Winkel von ungefähr 64° mit dem Horizonte. Auch des Morgens ist er schon beobachtet worden, allein weit schwächer als des Abends.

Da die Axe des Zodiakallichts mit dem Thierkreise zusammenfällt, so ist klar, daß die Neigung derselben gegen den Horizont nicht an allen Orten der Erde dieselbe seyn kann; in der That erscheint es um so weniger geneigt, je mehr man sich dem Aequator nähert; innerhalb der Tropen, wo es weit häufiger als in höheren Breiten und weit leuchtender und schöner beobachtet wird,

so daß es Humboldt einen beständigen Schmuck der Tropennächte nennt, steht es fast senkrecht auf dem Horizonte. Auf der nördlichen Halbkugel erscheint dem Beobachter die Spitze nach Süden gerichtet, also links von der Basis; auf der südlichen Halbkugel erscheint aber die ganze Pyramide nach Norden, also nach der rechten Seite des Beobachters hin geneigt.

Da das Zodiacallicht in unseren Gegenden zu den selteneren Erscheinungen gehört, so ist eine Abbildung durchaus nöthig, um eine klare Vorstellung dieser eigenthümlichen Erscheinung zu geben. Fig. 587 stellt eine von Horner

Fig. 587.



mitgetheilte Zeichnung eines Zodiacallichtes dar, welches dieser Gelehrte zu Santa Cruz an der Küste von Brasilien ungefähr 27° S. B. beobachtete.

Was die Erklärung des Zodiacallichts betrifft, so sind bis jetzt zweierlei Meinungen darüber aufgestellt worden; nach Mairan's Erklärung ist das Zodiakallicht die Atmosphäre der Sonne, welche entweder selbstleuchtend ist, oder von der Sonne erleuchtet wird; diese Atmosphäre ist wegen des schnellen Umschwungs der Sonne so stark abgeplattet, daß sie als ein in der Richtung des Sonnenäquators liegender Streifen erscheint; aus den Gesetzen der Gravitation läßt sich aber darthun, daß eine etwaige Sonnenatmosphäre sich nicht bis zur Mercursbahn erstrecken kann; weit wahrscheinlicher ist dagegen die andere Ansicht, nach welcher die Erscheinung des Zodiacallichts einem um die Sonne herumliegenden Nebelringe zuzuschreiben ist.

Sternschnuppen, Feuerkugeln und Meteorsteine. Eine allgemein 251
bekannte Erscheinung, welche deshalb auch keine weitere Beschreibung bedarf, sind die Sternschnuppen. Durch correspondirende Beobachtungen hat man ermittelt, daß die Höhe der Sternschnuppen 34 bis 35 Meilen beträgt, und daß sie sich mit einer Geschwindigkeit von 4 bis 8 Meilen in der Secunde bewegen.

Eine höchst merkwürdige Erscheinung sind die periodisch wiederkehrenden Sternschnuppenschwärme, welche man in der Zeit vom 12.—14. November und am 10. August (dem Feste des heiligen Laurentius) beobachtet; das letztere Phänomen wird in England schon in einem alten Kirchenkalender, unter dem Namen der feurigen Thränen des heiligen Laurentius, als eine wiederkehrende Erscheinung erwähnt. Einer der bedeutendsten Sternschnuppenschwärme wurde den 12.—13. November 1833 in Nordamerika beobachtet, wo die Sternschnuppen fast wie Schneeflocken zusammengedrängt erschienen, so daß innerhalb 9 Stunden 240000 fielen.

Die Feuerkugeln scheinen mit den Sternschnuppen gleichen Ursprungs und gleicher Natur zu seyn und sich nur durch die Größe der Erscheinung von einander zu unterscheiden. Bei den großen Sternschnuppenschwärmen sah man Feuerkugeln unter den Sternschnuppen.

Die Feuerkugeln zerplatzen unter großem Getöse und lassen dann Steinmassen herabfallen, welche unter dem Namen Meteorsteine oder Aërolithen bekannt sind. Auch bei Tage hat man solche Meteorsteine aus kleinen graulichen Wolken ebenfalls unter starkem Getöse herabfallen sehen.

Die frisch gefallenen Meteorsteine sind noch heiß und in Folge der Geschwindigkeit des Falles mehr oder weniger tief in den Boden eingedrungen.

Gegen Ende des vorigen Jahrhunderts war man sehr geneigt, das Herabfallen von Steinmassen aus der Luft für Mährchen zu erklären; seitdem aber haben sich Meteorsteinfälle ereignet, welche von mehreren Personen beobachtet und durch sachkundige Männer gehörig constatirt wurden. Dahin gehört besonders der Meteorsteinfall am 26. April 1803 bei Aigle im Departement de l'Orne, welchen Biot untersuchte, und der am 22. Mai 1808 zu

Stannern in Mähren. Am 13. November 1835 (also zur Zeit der Sternschnuppenperiode) wurde im Departement Ain durch einen Aërolithen ein Haus angezündet.

Die Meteorsteine haben eine eigenthümliche Physiognomie, wodurch sie sich von allen irdischen Fossilien unterscheiden, dennoch aber sind sie unter einander wieder so verschieden, daß Chladni, welcher sich soviel mit diesem Gegenstande beschäftigte, es für schwierig hielt, einen allgemeinen Charakter anzugeben; besonders charakteristisch ist aber doch wohl der Gehalt an gediegenem Eisen, und eine pechartig glänzende, zuweilen geäderte Rinde, welche fast nie fehlt. Eine weitere Beschreibung würde uns zu tief in mineralogische Details führen.

Man hat an verschiedenen Orten Steinmassen auf dem Boden gefunden, welche den Gebirgssystemen jener Gegenden ganz fremd sind, aber mit notorischen Meteorsteinen die größte Aehnlichkeit haben, und ist deshalb berechtigt, auch diese für Aërolithen zu halten.

Die Masse der Meteorsteine ist oft sehr groß.

Eines der Bruchstücke, welche zu Aigle im Jahre 1803 fielen, wog 17 Pfd. Im Jahre 1751 fiel bei Hradschma im Agramer Comitat ein 71 Pfund schwerer Meteorstein. Eine im Jahre 1814 zu Lenarto in Ungarn aufgefundene Meteorsteinmasse wog 194 Pfd. Eine in Sibirien aufgefundene, von Pallas beschriebene Masse von Meteoreisen wog 1400 Pfd., in Mexico fand man solche, welche 300 bis 400 Centner wogen.

Es ist kaum mehr zu bezweifeln, daß die Sternschnuppen, Feuerkugeln und Meteorsteine kosmischen Ursprungs, daß sie höchst wahrscheinlich Massen sind, welche wie die Planeten um die Sonne kreisen und, in die Anziehungssphäre der Erde gerathen, herabfallen. Die Feuer- und Lichterscheinung erklärt sich am einfachsten durch die Annahme, daß diese kleinen Weltkörper mit einer Atmosphäre brennbarer Gase umgeben sind, welche sich beim Eintritte in die sauerstoffhaltige Atmosphäre der Erde entzündet. Wenn man annimmt, daß außer unzähligen einzeln um die Sonne kreisenden Massen der Art ganze Schwärme derselben einen Ring um die Sonne bilden, daß die Ebene eines solchen Ringes an einer bestimmten Stelle die Erdbahn schneidet, so erklären sich dadurch die periodischen Sternschnuppenfälle.

Sechstes Kapitel.

Von der atmosphärischen Elektricität.

Erste Entdeckung der atmosphärischen Elektricität. Otto von Guericke, der berühmte Erfinder der Luftpumpe, war der Erste, welcher eine elektrische Lichterscheinung beobachtete. Wall beobachtete ungefähr zu derselben Zeit einen lebhafteren Funken und ein stärkeres Geräusch, als er einen großen Harzcylinder rieb, und merkwürdiger Weise wurden die ersten durch Menschenhände hervorgebrachten elektrischen Funken auch sogleich mit dem Blitze verglichen. Dieser Funken und dieses Knacken, sagt Wall in seiner Abhandlung (Philos. transactions), scheinen gewissermaßen den Blitz und den Donner darzustellen. Die Analogie war überraschend: um aber ihre Wahrheit zu beweisen, um in einer so kleinen Erscheinung die Ursache und die Gesetze eines der großartigsten Phänomene der Natur zu erkennen, bedurfte es noch directer Beweise. Während man in Europa darüber hin und her redete, ob wohl der Blitz wirklich ein elektrisches Phänomen sey, wurde in Amerika der experimentelle Beweis geliefert. Nachdem Franklin mehrere elektrische Entdeckungen, besonders über die Leidner Flasche und das Verhalten der Spitzen gemacht hatte, kam er auf den glücklichen Gedanken, die Elektricität in den Gewitterwolken selbst aufzusuchen; er schloß nämlich, daß Metallspitzen, auf hohen Gebäuden aufgestellt, die Elektricität der Wolken aufsaugen müßten. Mit Ungeduld erwartete er die Vollendung eines Glockenthurmes, welcher damals in Philadelphia aufgeführt werden sollte; endlich aber müde zu warten, nahm er zu einem anderen Mittel seine Zuflucht, welches noch sicherere Resultate geben mußte. Da es ja nur darauf ankam, einen Körper hoch genug in die Luft zu erheben, so dachte Franklin, daß ein Drache, ein Spielwerk der Kinder, ihm eben so gut dienen könnte wie der höchste Thurm. Er benutzte das erste Gewitter, um den Versuch zu machen; nur von einer Person, seinem Sohne, begleitet, weil er fürchtete, sich lächerlich zu machen, wenn der Versuch mißglückte, begab er sich in's Freie und ließ den Drachen steigen. Eine Wolke, welche viel versprach, zog vorüber, ohne irgend eine Wirkung hervorgebracht zu haben; andere zogen vorüber, er bemerkte keinen Funken, kein Anzeichen von Elektricität; endlich fingen die Fasern der Schnur an sich aufzustellen, und es ließ sich ein Geräusch hören. Dadurch ermuthigt, hielt Franklin den Finger gegen das Ende der Schnur, und siehe da, ein Funken sprang über, dem bald noch mehrere andere folgten. 252

Franklin hatte seinen Versuch im Juni 1752 angestellt; er wurde überall mit demselben Erfolge wiederholt. De Romas zu Nerac war, durch den ersten Gedanken Franklin's geleitet, ebenfalls auf die Idee gekommen, einen Drachen statt der hochgestellten Spitzen anzuwenden. Ohne von Frank-

lin's Resultaten Kunde zu haben, erhielt er im Juni 1753 sehr kräftige Zeichen von Elektricität, weil er die glückliche Idee hatte, in der Schnur ihrer ganzen Länge nach einen feinen Metalldraht anzubringen (Mém. des Savans étrangers t. II.). Im Jahre 1757 wiederholte de Romas seine Versuche und erhielt Funken von überraschender Größe. »Man denke sich,« sagt er, »Feuerstreifen von 9 bis 10 Fuß Länge und 1 Zoll Dicke, von einem Krachen begleitet, welches ebenso stark, ja stärker ist als ein Pistolenschuß. In weniger als einer Stunde erhielt ich zum mindesten 30 solcher Funken, tausend andere nicht zu zählen, welche 7 und weniger Fuß lang waren (Mém. des Savans étrangers t. VI.).«

Aller Vorsichtsmaßregeln ungeachtet, welche dieser geschickte Experimentator nahm, wurde er einmal durch die Heftigkeit des Schlages niedergeworfen.

Diese Versuche beweisen vollständig, daß der Blitz nur ein elektrischer Funken ist.

253 **Elektricität während der Gewitter.** Wenn man den elektrischen Zustand der Wolken untersucht, welche nach und nach über dem Drachen hinziehen, so erkennt man, daß sie bald mit positiver oder negativer Elektricität geladen sind, bald sich aber auch im natürlichen Zustande befinden. Obgleich wir über die Vertheilung der Elektricität in den Wolken nichts wissen, so ist doch wohl die Anziehung und Abstoßung der ungleich oder gleich elektrisirten Wolken die Ursache der außergewöhnlichen Bewegungen, welche man während der Gewitter am Himmel beobachtet. Während dieser allgemeinen Bewegung der Atmosphäre sieht man Blitze den Himmel durchzucken und hört den Donner rollen. Diese beiden Erscheinungen wollen wir nun näher betrachten.

Manchmal sieht man den Blitz aus einer Wolke hervorbrechen und den Himmel weithin durchfurchen. Wenn man von hohen Bergen herab diese Erscheinung zu seinen Füßen beobachtet, so kann man ihre Ausdehnung besser schätzen; alle Beobachter stimmen darin überein, daß sie unter solchen Umständen Blitze gesehen haben, welche wenigstens eine Meile lang waren. Man weiß auch, daß aus derselben Wolke nach einander mehrere Blitze hervorsprühen. Endlich ist bekannt, daß die Blitze meistens einen Zickzack bilden; diese Form ist dem Blitz und dem elektrischen Funken gemein.

Die Dampfbläschen, welche die Wolken bilden, sind nicht so vollkommene Leiter als die Metalle, und ohne die Gesetze des Gleichgewichts und der Vertheilung der Elektricität in unvollkommenen Leitern zu kennen, ist es doch klar, daß sie sich nicht auf einmal so vollständig entladen, daß sie durch einen einzigen Funken in den natürlichen Zustand zurückgeführt werden können; somit erklärt es sich, daß aus einer Wolke mehrere Blitze hervorspringen können.

Die Länge des Blitzes scheint auch eine Folge der unvollkommenen Leitungsfähigkeit der Wolken und der Beweglichkeit der Theilchen zu seyn, aus denen sie bestehen. Von dem Conductor der besten Elektrisirmaschine kann man durch trockene Luft hindurch Funken von 1 Meter Länge erhalten; die Funken werden aber noch länger, wenn man sie über Stoffe von Wolle oder Seide schlagen läßt, welche mit etwas Staub bestreut sind; so müßte man

auch durch einen Nebel hindurch längere Funken erhalten, wenn er nicht zu sehr die Spannung der Elektricität verminderte. Um die Länge des Blitzes zu erklären, muß man demnach wohl annehmen, daß auf dem Wege, welchen der Blitz nimmt, die Dampftheilchen schon durch Vertheilung elektrisirt sind, und daß endlich, wenn der Blitz erscheint, sich das zerstörte Gleichgewicht von Schicht zu Schicht wieder herstellt, daß gewissermaßen nur Funken von Theilchen zu Theilchen überspringen, daß aber die elektrische Flüssigkeit nicht den ganzen Weg zwischen den weit entfernten Wolken durchläuft.

Der Donner ist nicht schwerer zu erklären, wie das Geräusch eines kleinen elektrischen Funkens; er entsteht durch die Vibrationen der gewaltsam erschütterten Luft. Man sieht das Licht gleichzeitig auf der ganzen Bahn des Blitzes, und auf der ganzen Strecke entsteht auch gleichzeitig der Knall; da sich aber der Schall langsamer verbreitet als das Licht, da er in einer Secunde nur 340 Meter zurücklegt, so sieht man den Blitz eher, als man den Donner hört; ein Beobachter, welcher sich nahe an dem einen Ende der Bahn des Blitzes befindet, wird den in allen Punkten gleichzeitig entstehenden Ton nicht gleichzeitig hören. Nehmen wir an, der Blitz sey 3400 Meter lang und der Beobachter befinde sich in der Verlängerung seiner Bahn, so wird der Schall von dem entfernteren Ende des Blitzes 10 Secunden später ankommen als von dem zunächst gelegenen Ende. Da demnach der Schall von den verschiedenen Stellen des Blitzes nur nach und nach zum Ohre des Beobachters gelangt, so hört er also nicht einen momentanen Knall, sondern ein, je nach der Länge des Blitzes und seiner Stellung gegen die Bahn desselben, länger oder kürzer dauerndes Rollen des Donners, welches wohl noch durch ein Echo in den Wolken verstärkt wird.

Nicht allein bei Gewitterwolken, sondern auch bei heiterem Himmel kann man mit Hülfe guter Elektroskope die Existenz einer elektrischen Spannung in der Atmosphäre nachweisen.

Ueber den Ursprung der atmosphärischen Elektricität wissen wir so gut wie nichts. Einige meinen, daß die Elektricität der Gewitterwolken durch eine rasche Condensation des atmosphärischen Wasserdampfes entstehe, daß also die Elektricität eine Folge der schnellen Bildung dichter Wolken sey. — Nach den Versuchen Pouillet's wird durch die Verdunstung des Wassers, welches bald mehr, bald weniger fremde Substanzen gelöst enthält, durch jede Verbrennung, ja selbst durch die Vegetation Elektricität entwickelt.

Die Schwierigkeiten, welche sich einer genügenden Erklärung der atmosphärischen Elektricität entgegenstellen, sind wohl besonders darin zu suchen, daß wir wohl das Verhalten fester Körper gegen die Elektricität, aber nicht das der gasförmigen Körper, der Dämpfe und der Wolken, kennen; auch ist es schwer, hierüber entscheidende Versuche anzustellen, weil alle elektrische Erscheinungen, die wir im Kleinen an Gasen und Dämpfen etwa beobachten könnten, zu sehr durch die Nähe fester, bald mehr, bald weniger leitender Körper

modificirt sind, und man deshalb nicht mit Sicherheit auf die Bildung und Vertheilung der Elektricität in höheren Luftregionen schließen kann.

254 **Wirkungen des Blitzes auf der Erde.** Denken wir uns, daß eine Gewitterwolke 2000 bis 6000 Meter hoch über dem Meere oder über einem großen See schwebe; nehmen wir z. B. an, sie sey positiv elektrisch, so wird sie vertheilend wirken, die positive Elektricität im Wasser wird zurückgestoßen, die negative aber an der Oberfläche des Wassers angehäuft; diese Anhäufung kann so bedeutend seyn, daß sie eine merkliche Erhebung des Wassers bewirkt, es wird sich eine große Woge, ein Wasserberg bilden können, welcher so lange bleibt, als dieser elektrische Zustand dauert, der auf dreierlei Weise endigen kann. 1) Wenn sich die Elektricität der Wolke allmälig verliert, ohne daß ein Entladungsschlag erfolgt, so wird sich auch der natürlich-elektrische Zustand des Wassers allmälig wieder herstellen. 2) Wenn der Blitz zwischen einer Gewitterwolke und einer anderen, oder zwischen der Wolke und einem entfernteren Orte der Erde überschlägt, wenn also die Wolke plötzlich entladen wird, so muß die an der Oberfläche des Wasserberges angehäufte Elektricität auch rasch wieder ab-, die bisher abgestoßene rasch wieder zuströmen, es findet eine plötzliche Ausgleichung, ein Rückschlag Statt. 3) Wenn die Gewitterwolke sich nahe genug befindet und wenn sie stark genug mit Elektricität geladen ist, so schlägt der Blitz über. Dieser directe Schlag bringt in der Regel eine bedeutendere Bewegung, ein stärkeres Aufwallen des Wassers hervor als der Rückschlag. Ein solcher Schlag findet nicht ohne mächtige mechanische Wirkung Statt.

Betrachten wir nun die Wirkungen der Gewitterwolken auf dem Lande.

Eine allmälige Zerlegung und Wiedervereinigung der Elektricität bringt keine sichtbaren Wirkungen hervor; es scheint jedoch, daß solche Störungen des elektrischen Gleichgewichts durch organische Wesen, und namentlich durch nervenkranke Personen, empfunden werden können.

Der Rückschlag ist stets weniger heftig als der directe; es giebt kein Beispiel, daß er eine Entzündung veranlaßt habe, dagegen fehlt es nicht an Beispielen, daß Menschen und Thiere durch den Rückschlag getödtet worden sind; man findet an ihnen in diesem Falle durchaus keine gebrochenen Glieder, keine Wunden und keine Brandspuren.

Die furchtbarsten Wirkungen bringt der directe Schlag hervor. Wenn der Blitz einschlägt, so bezeichnet er die Stelle, wo er den Boden trifft, durch ein oder mehrere, bald mehr, bald minder tiefe Löcher.

Alles, was sich über die Ebene erhebt, ist vorzugsweise dem Blitzschlage ausgesetzt; daher kommt es, daß so oft Thiere mitten in der Ebene erschlagen werden; unter sonst gleichen Umständen ist man jedoch auf einem nichtleitenden Boden sicherer als auf einem gutleitenden.

Bäume sind schon durch Säfte, welche in ihnen circuliren, gute Leiter; wenn eine Gewitterwolke über ihnen hinzieht, so findet in den Bäumen eine starke Anhäufung von Elektricität Statt, und deshalb sagt man mit Recht, daß Bäume

den Blitz anziehen; man darf deshalb während eines Gewitters unter Bäumen, namentlich unter einsam stehenden Bäumen, ja selbst unter einsam in der Ebene stehenden Sträuchen keinen Schutz suchen.

Gebäude sind in der Regel aus Metall, Steinen und Holz zusammengesetzt. Wegen der ungleichen Leitungsfähigkeit dieser Substanzen ist auch die Wirkung der Gewitterwolken auf dieselben sehr verschieden. Wenn der Blitz einschlägt, so trifft er vorzugsweise die besseren Leiter, mögen sie nun frei oder durch schlechtere Leiter eingehüllt seyn; die vertheilende Kraft der atmosphärischen Elektricität wirkt auf den in die Wand eingeschlagenen Nagel eben so gut, wie auf die frei in die Luft ragende Windfahne.

Die mechanischen Wirkungen des Blitzes sind in der Regel sehr heftig. Wenn der Blitz in ein Zimmer einschlägt, so werden die Möbel umgestürzt und zertrümmert, Metallstücke werden herausgerissen und fortgeschleudert. Bäume werden vom Blitz gespalten und zersplittert, gewöhnlich aber kann man vom Gipfel bis zum Boden eine mehrere Centimeter breite und tiefe Furche verfolgen, die abgeschälte Rinde und die ausgerissenen Späne findet man weit weggeschleudert, und am Fuße des Baumes sieht man oft ein Loch, durch welches das elektrische Fluidum sich in den Boden verbreitete.

Die physikalischen Wirkungen des Blitzes beweisen eine mehr oder minder bedeutende Temperaturerhöhung. Wenn der Blitz ein Strohdach, trockenes Holz, ja grüne Bäume trifft, so findet eine Verkohlung, meistens sogar eine Entzündung Statt; bei Bäumen findet man jedoch seltner Spuren von Verkohlung. Metalle werden durch den Blitz stark erhitzt, geschmolzen oder verflüchtigt. Wiederholte Blitzschläge bringen auf hohen Bergen sichtbare Spuren von Schmelzung hervor; Saussure bemerkte sie auf dem Gipfel des Montblanc in Hornblendeschiefer, Ramond auf dem Gipfel des Montperdu in Glimmerschiefer und auf dem Pui de Dome in Porphyr; endlich sahen Humboldt und Bonpland auf dem Gipfel des Vulcans von Toluca auf einer Ausdehnung von mehr als zwei Quadratfuß hin die Oberfläche der Felsen verglast; an einigen Stellen fanden sie sogar Löcher, welche innen mit einer glasigen Kruste überzogen waren.

Ein interessantes Beispiel von Schmelzung durch den Blitz erzählt uns Withering (Phil. Transact. 1790). Am 3. September 1789 schlug der Blitz in eine Eiche im Park des Grafen von Aylesford ein und tödtete einen Menschen, welcher unter diesem Baume Schutz gesucht hatte. Der Stock, welchen der Unglückliche trug, scheint besonders den Blitz geleitet zu haben, weil sich da, wo der Stock auf den Boden aufgestützt war, ein Loch von 5 Zoll Tiefe und $2^1/_2$ Zoll Durchmesser fand. Das Loch wurde alsbald von Withering untersucht, und es fanden sich in demselben nur einige verbrannte Wurzelfasern. Der Lord Aylesford wollte nun an dieser Stelle eine Pyramide mit einer Inschrift errichten lassen, welche davor warnen sollte, bei Gewittern unter Bäumen Schutz zu suchen. Beim Graben des Fundamentes fand man den Boden in der Richtung des Loches bis zu einer Tiefe von 10 Zoll geschwärzt, und 2 Zoll tiefer fand man in dem quarzigen Boden deutliche Spuren von

Schmelzung. Unter Anderem fand sich ein Quarzstück, dessen Kanten und Ecken vollkommen geschmolzen waren, und eine durch die Hitze zusammengebackene Sandmasse, in welcher sich eine Höhlung befand, in der die Schmelzung so vollkommen war, daß die geschmolzene Quarzmasse an den Seiten der Höhlung herunter geflossen war.

Endlich müssen hier noch die sogenannten Blitzröhren erwähnt werden, welche man in den sandigen Ebenen von Schlesien, von Ostpreußen, von Cumberland und in Brasilien, nahe bei Bahia, findet. Diese Röhren sind oft 8 bis 10 Meter lang, ihr äußerer Durchmesser beträgt gewöhnlich 5 Centimeter, ihr innerer einige Millimeter; die innere Fläche ist vollkommen verglast, die äußere ist rauh, sie sieht aus wie eine mit zusammengebackenen Sandkörnern bedeckte Kruste; man findet sie bald in verticaler, bald in schräger Richtung im Sande; am unteren Ende verzweigen sie sich gewöhnlich und werden nach und nach spitzer. Fiedler, welcher über diesen Gegenstand viele interessante Beobachtungen gemacht hat (Gilbert's Annal. LV. und LXI.), bemerkt, daß sich in einer gewissen Tiefe unter der Oberfläche der Sandebenen Wassermulden befinden, und er betrachtet die Blitzröhren dadurch entstanden, daß der Blitz durch den Sand nach dem Wasser durchschlägt.

Um einen Begriff von den fürchterlichen Wirkungen des Blitzes zu geben, mag hier eine Beschreibung des Unglücks folgen, welches sich am 11. Juli 1819 zu Chateauneuf-les-Moustiers ereignete, wie es durch den Generalvicar Trincalye von Digne an die Akademie der Wissenschaften berichtet wurde.

Im Arrondissement von Digne, im südöstlichen Theile des Departements der Niederalpen, an die kleine Stadt Moustiers gränzend, welche durch ihre Fayencemanufacturen bekannt ist, liegt das Dorf Chateauneuf. Es ist auf der Höhe und an dem Abhange eines der Vorgebirge der Alpen gelegen, welche das Amphitheater von Moustiers bilden; es besteht aus 14 Häusern, welche um das Pfarrhaus und um die Kirche herumliegen; außerdem liegen noch 105 Wohnungen als Höfe zerstreut auf dem Abhange des Gebirges.

Am Sonntage, den 11. Juli 1819, traf während des Gottesdienstes ein Blitzschlag die Kirche; der Pfarrer von Moustiers, welcher anwesend war, um einen neuen Rector zu installiren, wurde betäubt niedergeworfen. Der Stuhl, auf welchem er gesessen hatte, war zerbrochen. Erst nach zwei Monaten vernarbten die Wunden, deren er fünf erhalten hatte. Während dieser Zeit wurde er durch Schlaflosigkeit ermattet, die Arme waren gelähmt, und er litt viel bei Witterungsveränderungen. Die Kirche war mit einem dicken schwarzen Rauch erfüllt; man konnte die verschiedenen Gegenstände nur vermittelst der Flammen der durch den Blitz entzündeten Gegenstände erkennen. Acht Personen blieben todt auf dem Platze. Ein Mädchen von 19 Jahren starb des anderen Tages unter schrecklichen Schmerzen. 82 Personen waren verwundet.

Eine Frau, welche auf dem Gebirge westlich von Chateauneuf in einer Hütte war, sah dreimal nach einander Feuermassen herabfallen, welche das ganze Dorf in Asche legen zu müssen schienen.

Wahrscheinlich hatte der Blitz zuerst das Kreuz auf dem Thurme getroffen,

welches man in einer Entfernung von 16 Metern in einer Felsspalte steckend fand. Das elektrische Feuer drang dann durch ein in das Gewölbe geschlagenes Loch in die Kirche; die Kanzel war zertrümmert. Man fand in der Kirche eine Höhlung von $^1/_2$ Meter Durchmesser, welche bis auf das Straßenpflaster ging; eine andere führte bis in einen Stall, in welchem man 5 Schafe und 1 Pferd todt fand.

Am 9. Juli 1849 entlud sich über Basel ein heftiges Gewitter, welches dreimal einschlug. Einer dieser Blitzschläge folgte dem Blitzableiter eines Hauses bis in den Boden, sprang aber von da auf eine 3 Fuß vom unteren Ende der metallischen Leitung vorübergehende eiserne Wasserleitung über. Die einzelnen Röhrenstücke dieser Wasserleitung waren mit Pech in einander gefügt und gerade an diesen Stellen, wo also die metallische Leitung unterbrochen war, wurden viele Röhrenstücke bis auf eine Entfernung von mehr als $^1/_4$ Stunde durch das Ueberspringen des elektrischen Fluidum zersprengt. Gleich nach jenem Blitzschlage hörten deshalb auch alle Brunnen des entsprechenden Stadtviertels auf zu fließen.

Die Blitzableiter bestehen aus einer zugespitzten Metallstange, welche in 255
die Luft hineinragt, und einem guten Leiter, welcher die Stange mit dem Boden verbindet. Folgende Bedingungen müssen erfüllt seyn, wenn sie ihren Zweck erfüllen sollen:

1) Die Stange muß in eine sehr feine Spitze zulaufen.

2) Die Verbindung mit dem Boden muß vollkommen leitend seyn.

3) Von der Spitze bis zum unteren Ende der Leitung darf keine Unterbrechung stattfinden.

4) Alle Theile des Apparates müssen die gehörigen Dimensionen haben.

Wenn eine Gewitterwolke über dem Blitzableiter schwebt, so werden die verbundenen Elektricitäten des Stabes und der Leitung zerlegt, diejenige Elektricität wird abgestoßen, welche mit der der Wolke gleichnamig ist, und sie kann sich frei im Boden verbreiten, die entgegengesetzte Elektricität aber wird nach der Spitze gezogen, wo sie frei in die Luft ausströmen kann; auf diese Weise ist keine Anhäufung von Elektricität im Blitzableiter möglich. Während so der Blitzableiter in Thätigkeit ist, während ihn die entgegengesetzten Elektricitäten in entgegengesetzter Richtung durchströmen, kann man sich ihm ohne Gefahr nähern, man kann ihn ohne Gefahr berühren, denn wo keine elektrische Spannung vorhanden ist, ist auch kein Schlag zu befürchten.

Nehmen wir nun an, eine der drei zuerstgenannten Bedingungen sey nicht erfüllt, die Spitze sey stumpf, die Leitung zum Boden sey unvollkommen oder unterbrochen, so ist klar, daß eine Anhäufung von Elektricität im Blitzableiter nicht allein möglich, sondern auch, daß sie unvermeidlich ist; er bildet dann einen geladenen Conductor, in welchem eine ungeheure Menge von Elektricität angehäuft seyn kann; man kann bald schwächere, bald stärkere Funken aus ihm ziehen.

Wenn nur die Spitze stumpf ist, so kann der Blitz einschlagen, allein er wird der Leitung folgen, ohne das Gebäude zu zerstören.

Wenn die Leitung unterbrochen oder die Verbindung mit dem Boden unvollkommen ist, so kann der Blitz ebenfalls einschlagen, er wird sich aber auch seitwärts auf andere Leiter verbreiten und eben solche Zerstörungen anrichten, als ob gar kein Blitzableiter vorhanden gewesen wäre.

Noch mehr: ein Blitzableiter, welcher diese Fehler hat, ist sehr gefährlich, selbst wenn der Blitz nicht einschlägt; denn wenn an irgend einer Stelle die Leitung der Elektricität hinlänglich angehäuft ist, so kann ein Funken seitwärts überschlagen, welcher irgend Gegenstände zertrümmern oder entzünden kann. Man kann dafür ein trauriges Beispiel anführen. Richmann, Professor der Physik in Petersburg, wurde von einem Funken plötzlich getödtet, welcher dem Blitzableiter entfuhr, der in sein Haus heruntergeleitet war und dessen Leitung er unterbrochen hatte, um die Elektricität der Wolken zu untersuchen. Sokolow, Kupferstecher der Akademie, sah, wie der Funken Richmann auf die Stirne traf.

Nachdem wir angegeben haben, welche Bedingungen erfüllt seyn müssen, wenn ein Blitzableiter wirksam seyn soll, und welche Gefahren daraus entspringen, wenn man sie vernachlässigt, bleibt noch Einiges über die praktische Ausführung der Blitzableiter zu sagen übrig. Gay-Lussac hat unter den Auspicien der Akademie der Wissenschaften auf das Verlangen des Ministers des Inneren eine Instruction über diesen Gegenstand verfaßt, welche nichts zu wünschen übrig läßt, aus der wir aber hier nur das Wesentlichste anführen können.

Die Stange des Blitzableiters ist ungefähr 9 Meter lang; sie ist aus drei Stücken zusammengesetzt, nämlich

einer Eisenstange von	8,6	Meter Länge
einem Messingstabe von	0,6	» »
einer Platinnadel von	0,05	» »

Zusammen bilden sie einen von unten nach oben gleichmäßig zulaufenden Kegel, Fig. 588.

Die Platinnadel ist an dem Messingstabe mit Silber angelöthet und die Verbindungsstelle mit einer Hülle von Messing umgeben, wie man dies in Fig. 589 deutlicher sieht.

Der Messingstab ist in der Eisenstange eingeschraubt und dann noch durch Querstifte befestigt.

Die Eisenstange ist manchmal, um den Transport zu erleichtern, aus zwei Stücken zusammengesetzt, von denen das eine mittelst eines zwei Decimeter langen Zapfens in das andere hineingesteckt und dann mittelst eines Querstiftes befestigt ist.

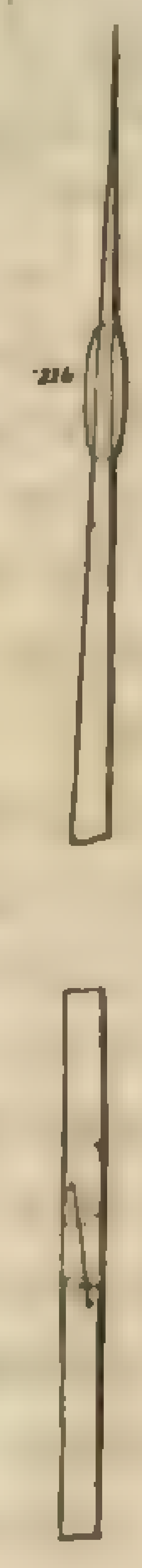
In Fig. 591 sieht man drei verschiedene Arten, nach welchen die Stange auf einem Gebäude befestigt werden kann.

Unterhalb der Stange, 8 Centimeter weit vom Dache, ist eine Platte $b\,b'$, Fig. 590, angelöthet, um das Wasser abzuleiten. 5 Centimeter über dieser

Platte muß die Stange cylindrisch und vollkommen gut abgedreht seyn, damit man ein Charnier *l l'*, Fig. 590 und 592, darum legen kann, an welchem die Leitstangen befestigt werden.

Fig. 588. Fig. 589. Fig. 592.







Der Leiter ist eine quadratische Eisenstange, deren Seite 15 und 20 Millimeter beträgt und welche an dem Ringe *l l* mittelst Schrauben befestigt ist.

Die Leitstange wird über das Dach her und an dem Gebäude herunter in den Boden geleitet. Alles kommt darauf an, die Leitstange mit dem Boden möglichst gut in leitende Verbindung zu bringen. Wenn irgend ein Brunnen in der Nähe ist, welcher nicht austrocknet, oder wenn man ein Loch bis zu der Tiefe bohren kann, in welcher sich beständig Wasser findet, so reicht es hin, die Stange hineinzuleiten, indem man sie in mehrere Arme theilt. Um die Berührungspunkte zu vermehren, führt man die Stange durch Windungen zu dem Brunnen oder dem Bohrloche, welche man dann mit Hlozkohlen ausfüllt. Dies gewährt den doppelten Vortheil, daß auf diese Weise das Eisen besser vor Rost geschützt wird und daß es mit einem sehr guten Leiter, der Kohle, in Berührung ist.

Wenn man kein Wasser in der Nähe hat, muß man die Stange wenigstens durch einen langen Canal, der mit Kohlen ausgefüllt wird, an einen feuchten Ort leiten. Der größeren Sicherheit wegen kann man die Leitstange auch noch in Seitencanäle verzweigen.

Fig. 590. Fig. 593.

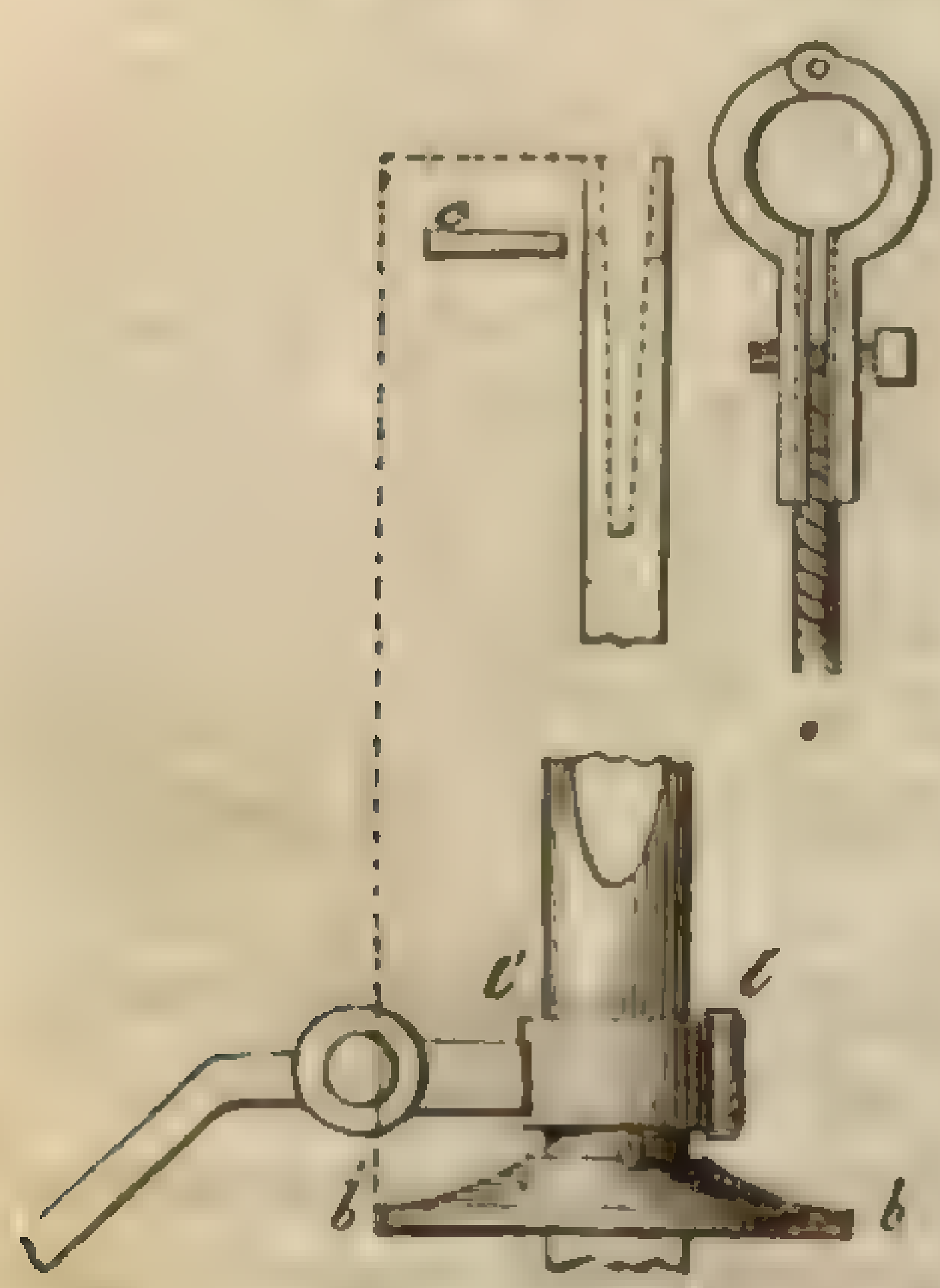
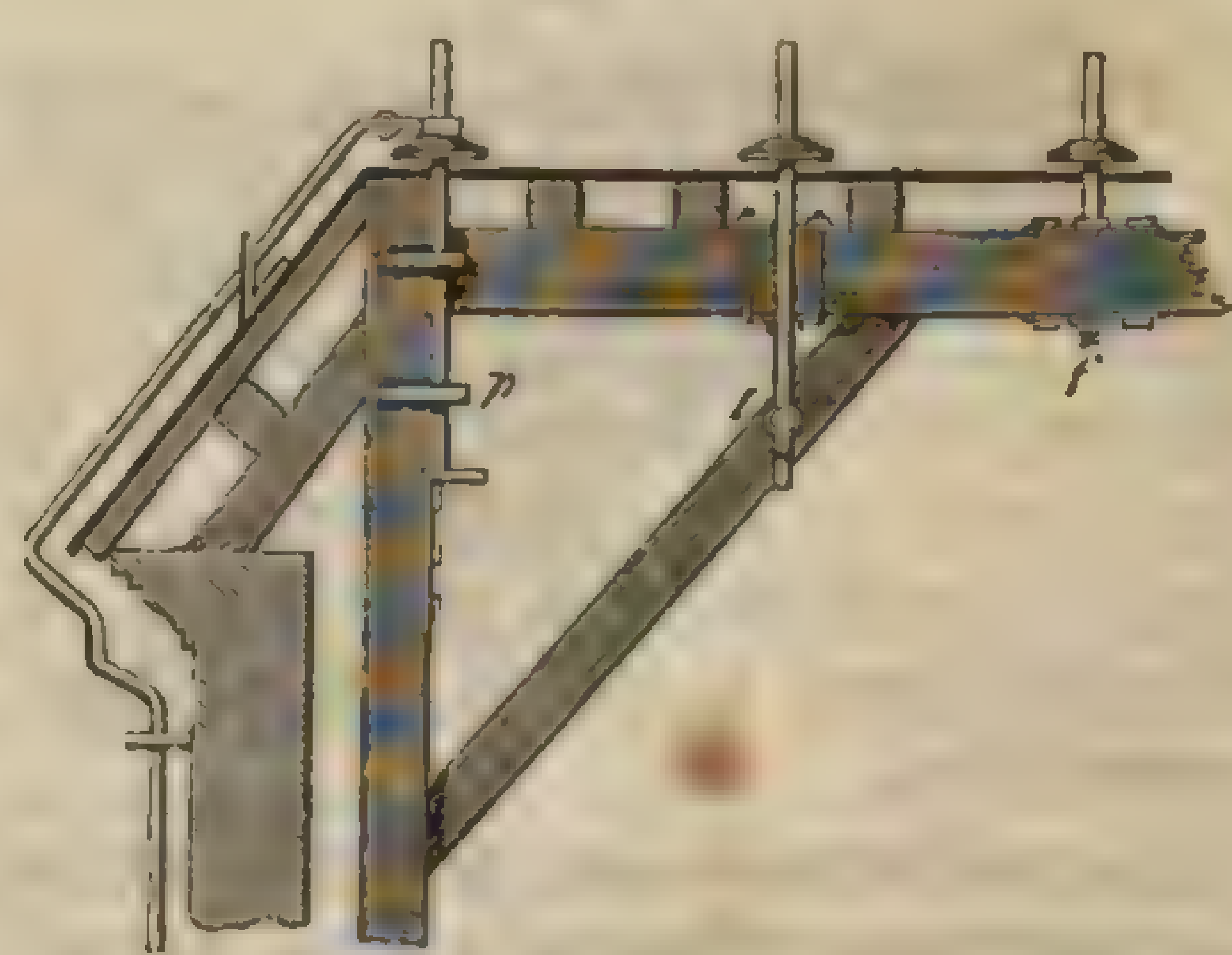


Fig. 591.



Häufig wendet man statt der Leitstange ein von Kupferdraht gewundenes Seil an wie Fig. 593 (a. v. S.).

Wenn man leicht einsieht, daß der Blitz nicht in einen nach diesen Principien construirten Blitzableiter schlägt, so ist es nicht schwieriger zu begreifen, daß er auch in einiger Entfernung vom Blitzableiter nicht einschlagen kann. Die Elektricität, welche in reichlichem Maaße durch die Spitze ausströmt, wird durch die Gewitterwolke angezogen und neutralisirt, daselbst angekommen, einen Theil der ursprünglichen Elektricität dieser Wolke. Wenn also eine Gewitterwolke dem Blitzableiter nahe genug ist, um vertheilend wirken zu können, so wird auch sogleich ihre elektrische Kraft durch das Zuströmen der entgegengesetzten Elektricität aus der Spitze geschwächt. Je mehr sich die Wolke nähert, desto stärker wirkt ihre vertheilende Kraft, desto mehr wird sie aber auch durch das Zuströmen der entgegengesetzten Elektricität neutralisirt.

Die Wirksamkeit des Blitzableiters ist jedoch noch an einige andere Bedingungen geknüpft. Wenn er von anderen in der Nähe befindlichen Gegenständen überragt wird, so kann die Elektricität der Wolke auf diese stärker wirken als auf den Blitzableiter, es ist also ein Schlag möglich; ebenso wenn bedeutende Metallmassen, etwa eiserne Stangen oder eine metallische Dachbedeckung, sich in der Nähe des Blitzableiters befinden. In dem letzteren Falle muß man diese Metallmassen möglichst gut in leitende Verbindung mit dem Blitzableiter bringen, damit die angezogene Elektricität ungehindert durch die Spitze ausströmen kann. Es ist demnach gefährlich, die metallene Dachbedeckung von dem Blitzableiter zu isoliren, wie dies einige Praktiker vorgeschlagen haben. Glücklicher Weise sind die Mittel, welche sie zur Isolirung angewandt haben, nicht ausreichend, um ihren Zweck zu erfüllen, und so haben sie nur etwas Unnützes gemacht.

Die Erfahrung zeigt, daß ein mit allen Vorsichtsmaßregeln angelegter Blitzableiter von den angegebenen Dimensionen einen Umkreis von ungefähr 20 Metern Radius schützt.

256 **Geographische Verbreitung der Gewitter.** In der heißen Zone sind die Gewitter sehr häufig, namentlich zu Anfange und zu Ende der nassen Jahreszeit; in der Region der Calmen aber findet fast täglich ein Gewitter Statt; sie sind dort ungleich heftiger als in unseren Gegenden. In höheren Breiten werden die Gewitter seltener; im westlichen Europa und in Deutschland kommen ungefähr 20 Gewitter auf das Jahr, in Petersburg und Moskau 17, in Stockholm 9, in Bergen 6; in noch nördlicheren Gegenden sind sie noch seltener, so daß oft mehrere Jahre vergehen, ohne daß man einmal donnern hört.

Im westlichen Europa fällt ungefähr die Hälfte aller im Laufe eines Jahres stattfindenden Gewitter auf den Sommer, auf den Winter ungefähr $^1/_{10}$. In Deutschland und der Schweiz sind die Gewitter im Sommer noch zahlreicher, Wintergewitter aber sind hier eine Seltenheit; noch weiter im Inne-

ren von Europa giebt es gar keine Wintergewitter mehr. Auf der Westküste von Norwegen, in Bergen, wo im Laufe eines Jahres im Durchschnitte 6 Gewitter stattfinden, kommen dagegen ungefähr 2 — 3 Gewitter auf den Winter und nur 1 — 2 auf den Sommer. Auch auf der Westküste von Nordamerika und den Ostküsten des adriatischen Meeres sind die Wintergewitter vorherrschend.

Siebentes Kapitel.

Vom Erdmagnetismus.

Die Wirkung, welche der Erdmagnetismus an irgend einem Orte der Erde 257
ausübt, ist durch die Declination, die Inclination und die Intensität bestimmt. Mit rastlosem Eifer haben gelehrte Reisende in allen Welttheilen und in den verschiedensten Gegenden der Meere diese Elemente zu bestimmen gesucht; die Resultate ihrer Forschungen hat man auf den Erdkarten durch drei verschiedene Systeme von Linien zusammengefaßt, welche man die isogonischen, die isoclinischen und die isodynamischen genannt hat.

Die isogonischen Linien sind diejenigen, für welche in allen Punkten die Declination dieselbe ist; solche Karten, in welche man die isogonischen Linien aufgetragen hat, nennt man Declinationskarten. Die erste Karte der Art hatte Halley im Jahre 1700 construirt. Da die Elemente des Erdmagnetismus fortwährend sich ändern, so kann eine solche Karte den Lauf der isogonischen Linien nur für eine bestimmte Zeit angeben; in der That weicht die von Hansteen für das Jahr 1780 entworfene Declinationskarte schon sehr bedeutend von der Halley'schen ab, und jetzt ist natürlich der Lauf der isogonischen Linien nicht mehr derselbe, wie er im Jahre 1780 war. Die neuesten Declinationskarten sind von Adolph Ermann und Barlow entworfen. Ermann hat die isogonischen Linien nach den in den Jahren 1827 bis 1830 beobachteten Werthen der Declination construirt; Barlow's Karte ist für das Jahr 1833 entworfen.

Die Karten Fig. 594, 595 und 596 stellen die isogonischen Linien dar, wie sich ihr Lauf aus den nach der Gauß'schen Theorie des Erdmagnetismus, von der alsbald die Rede seyn wird, berechneten Werthen der Declination ergiebt, und zwar für den Erdgürtel zwischen dem 70. Grade nördlicher und südlicher Breite in Aequatorial-Projection, für die Umgebungen der Pole aber, weil der Lauf der Curven in der Nähe derselben in dieser Projection zu sehr verzerrt erscheinen würde, in Polarprojection dargestellt, wie dies auch bei den folgenden Inclinations- und Intensitätskarten der Fall ist.

Eine Linie ohne Abweichung, d. h. eine solche Linie, auf welcher überall die

Richtung der horizontalen Magnetnadel mit der Richtung des astronomischen Meridians zusammenfällt, schneidet die östliche Spitze von Südamerika ab, läuft östlich von Westindien durch den atlantischen Ocean, um in der Gegend von Philadelphia in den Continent von Nordamerika einzutreten und durch die Hudsonsbai hindurch zu laufen; dann passirt diese Linie ohne Abweichung den magnetischen und den astronomischen Nordpol der Erde, tritt östlich vom weißen Meere in den Continent der alten Welt ein, geht durch das caspische Meer, schneidet die Ostspitze von Arabien ab, wendet sich dann nach Neuholland, um endlich durch den magnetischen und astronomischen Südpol der Erde in sich selbst zurückzulaufen.

Fig. 594.



In der Karte Fig. 594 erscheinen zwei Stücke dieser Linie getrennt von einander; die Verbindungsstücke dieser beiden Theile kann man auf den Karten Fig. 595 und 596 verfolgen.

Diese Linie ohne Abweichung, welche um die ganze Erde herumläuft, theilt die Erdoberfläche in 2 Theile; auf der einen Hälfte, nämlich auf dem atlantischen Ocean, in Europa und Afrika ist die Abweichung der Magnetnadel überall eine westliche; auf der anderen Hälfte ist die Abweichung östlich, mit Ausnahme einer kleinen Strecke im östlichen Asien und dem angränzenden Meere, denn hier findet sich eine zweite in sich selbst zurücklaufende Linie, für welche die Abweichung Null ist, und innerhalb des durch diese Curve eingeschlossenen Raumes ist die Abweichung wieder westlich.

In unseren Karten sind alle Curven östlicher Abweichung punktirt; die

Größe der Declination, welche einer jeden Curve entspricht, ist stets beigeschrieben.

In der Nähe der Pole bilden die isogonischen Linien ein ziemlich complicirtes System, indem sie in zwei Punkten, nämlich in dem magnetischen und in dem astronomischen Pole, zusammenlaufen; dies rührt jedoch nicht daher, daß die magnetischen Erscheinungen in jenen Gegenden so complicirt sind, sondern nur daher, daß bei der Bestimmung der Declination ein dem Magnetismus selbst eigentlich ganz fremdes Element, nämlich die Richtung des astronomischen Meridians, in Betrachtung zu ziehen ist; durch diese Einmischung geht die Einfachheit verloren. Der magnetische Pol, in welchem alle isogonischen Linien zusammenlaufen, ist allerdings ein magnetisch ausgezeichneter Punkt; denn denken wir uns ganz in der Nähe dieses Pols um denselben einen Kreis gezogen, so wird für alle Punkte dieses Kreises die horizontale Magnetnadel nach diesem Pole hin gerichtet seyn; der Nordpol und der Südpol der Erde sind aber durchaus keine magnetisch ausgezeichneten Punkte, obgleich die isogonischen Linien sich in diesen Polen schneiden; sehen wir nun, woher dies kommt. Auf dem Nordpole selbst fällt die Richtung der horizontalen Magnetnadel sehr nahe mit der Richtung des 60. Längengrades zusammen; in der Nähe dieses Pols rings um denselben herum wird nun die Magnetnadel fast ganz dieselbe Richtung haben, rings um den Pol herumge-

Fig. 595.

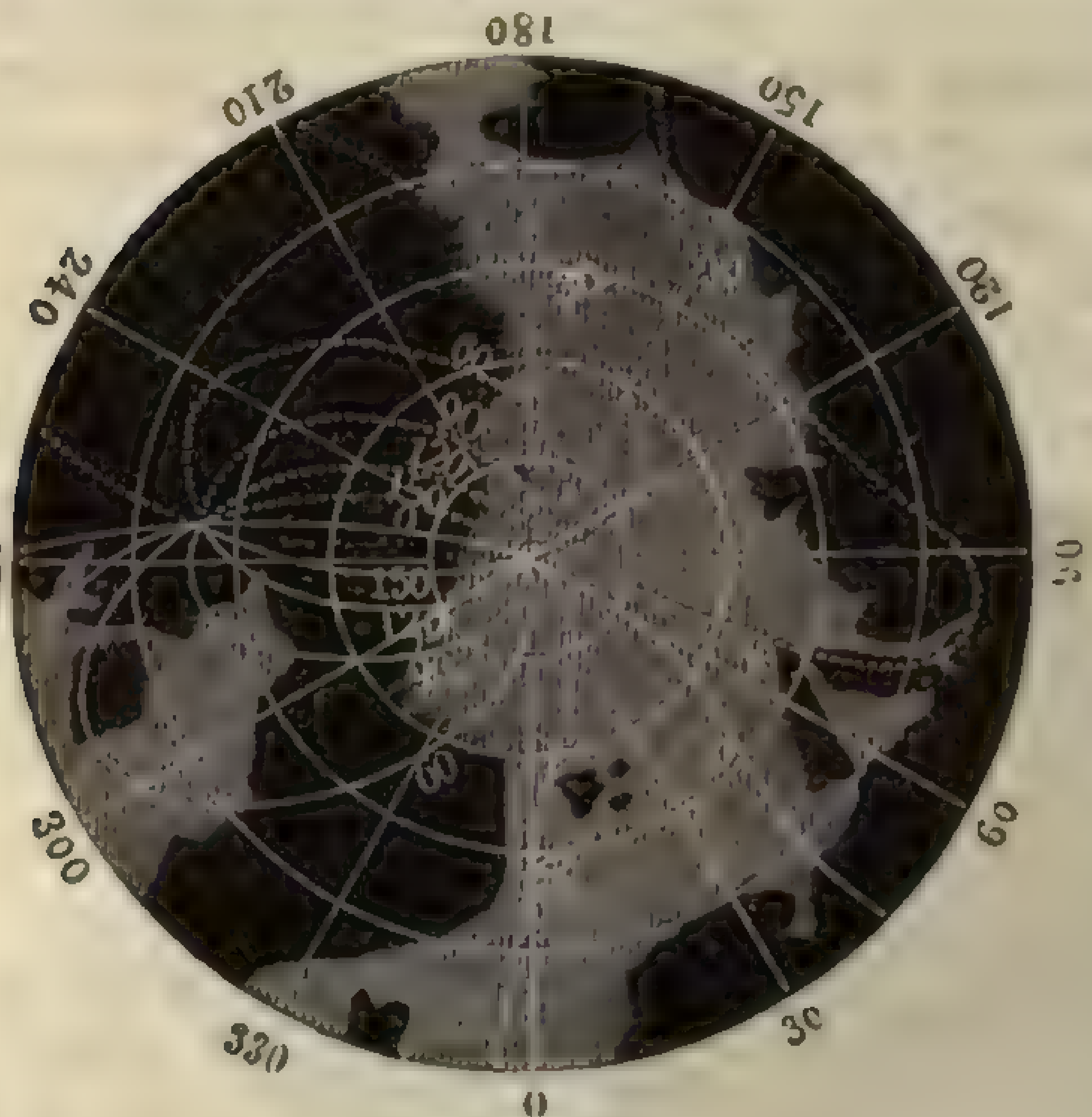
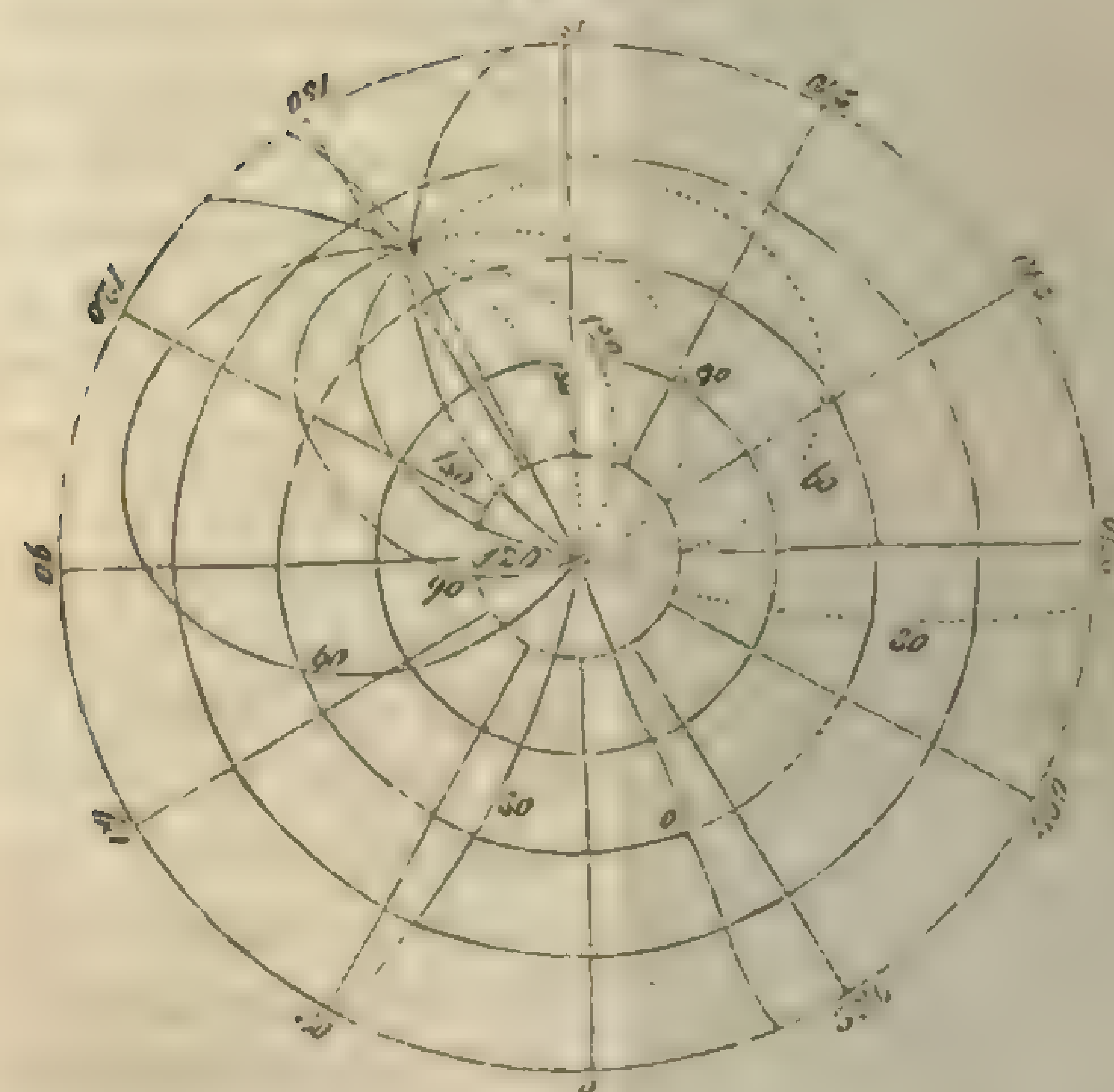


Fig. 596.



hend wird man aber deshalb der Reihe nach alle möglichen Werthe der Declination finden, weil alle Mittagslinien nach dem Pole convergiren; eine und dieselbe Richtung der Magnetnadel macht also verschiedene Winkel mit den von allen Seiten her nach dem Pole zusammenlaufenden Meridianen.

Aehnliche Verwickelungen werden wir bei den folgenden Karten nicht wiederfinden.

Diese Kärtchen können natürlich schon wegen ihrer Kleinheit keinen Anspruch auf Genauigkeit machen, ihr Zweck ist auch nur, ein Bild vom Laufe der magnetischen Curven zu geben.

Die Karten Fig. 597, 598 und 599 stellen den Lauf der isoclinischen Linien dar. Die isoclinischen Linien verändern sich im Laufe der Zeit wie die isogonischen. Die erste Inclinationskarte wurde im Jahre 1780 von Hansteen construirt; der jetzige Lauf der isoclinischen Linien weicht schon bedeutend von der damaligen Lage dieser Linien ab.

Fig. 597.



Die Linie auf der Erdoberfläche, für welche die Inclination gleich 0 ist, auf welcher also die Inclinationsnadel wagerecht steht, ist der magnetische Aequator. Nördlich vom magnetischen Aequator ist das Nordende, südlich von demselben ist das Südende der Inclinationsnadel nach unten gerichtet.

Die magnetischen Pole der Erde sind diejenigen Stellen der Erdoberfläche, auf welchen die Inclinationsnadel vertical steht, wo also der horizontale Antheil der magnetischen Erdkraft ganz verschwindet. Solcher magnetischen Pole giebt es zwei auf der Erdoberfläche, nämlich einen nördlichen und einen südlichen. Nach der

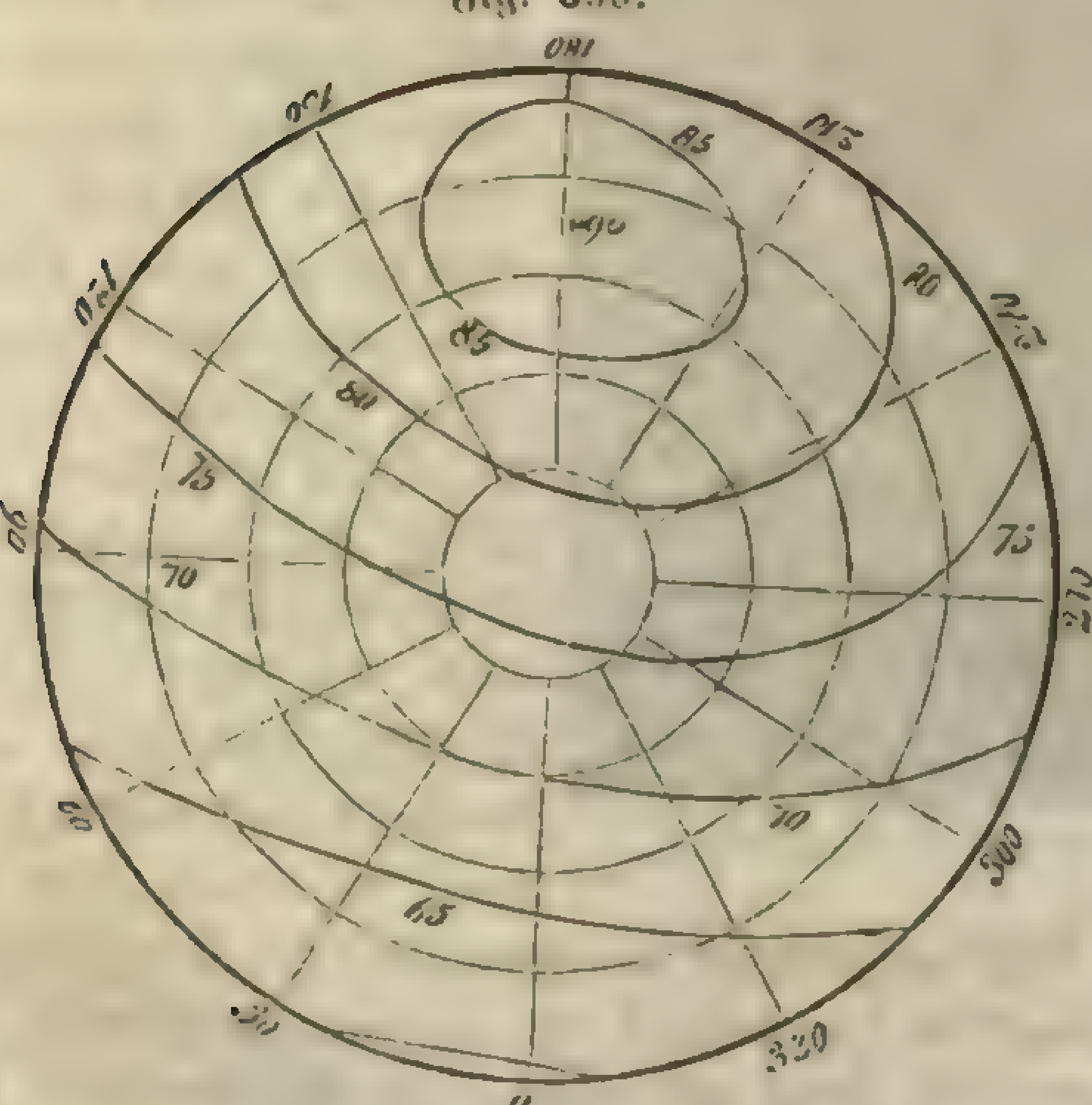
Gauß'schen Theorie liegt der nördliche magnetische Pol 3° 30′ nördlich von dem Orte, wo ihn der Capitain Roß fand; beim südlichen magnetischen Pole wird man, wie Gauß bemerkt, wohl noch eine bedeutend größere Verschiebung zu erwarten haben.

Man kann sich über diese Differenzen zwischen der Rechnung und der Beobachtung nicht wundern, wenn man bedenkt, daß die Data, welche Gauß zur Ausführung seiner Theorie zu Grunde legen konnte, selbst mehr oder weniger ungenau sind, daß die Angaben verschiedener Beobachter für einen und denselben Ort oft zu bedeutend differiren, als daß man annehmen könnte, diese Unterschiede seyen den Veränderungen der erdmagnetischen Kraft im Laufe der wenigen Jahre zuzuschreiben, welche zwischen den Beobachtungszeiten beider liegen.

Fig. 598.



Fig. 599.

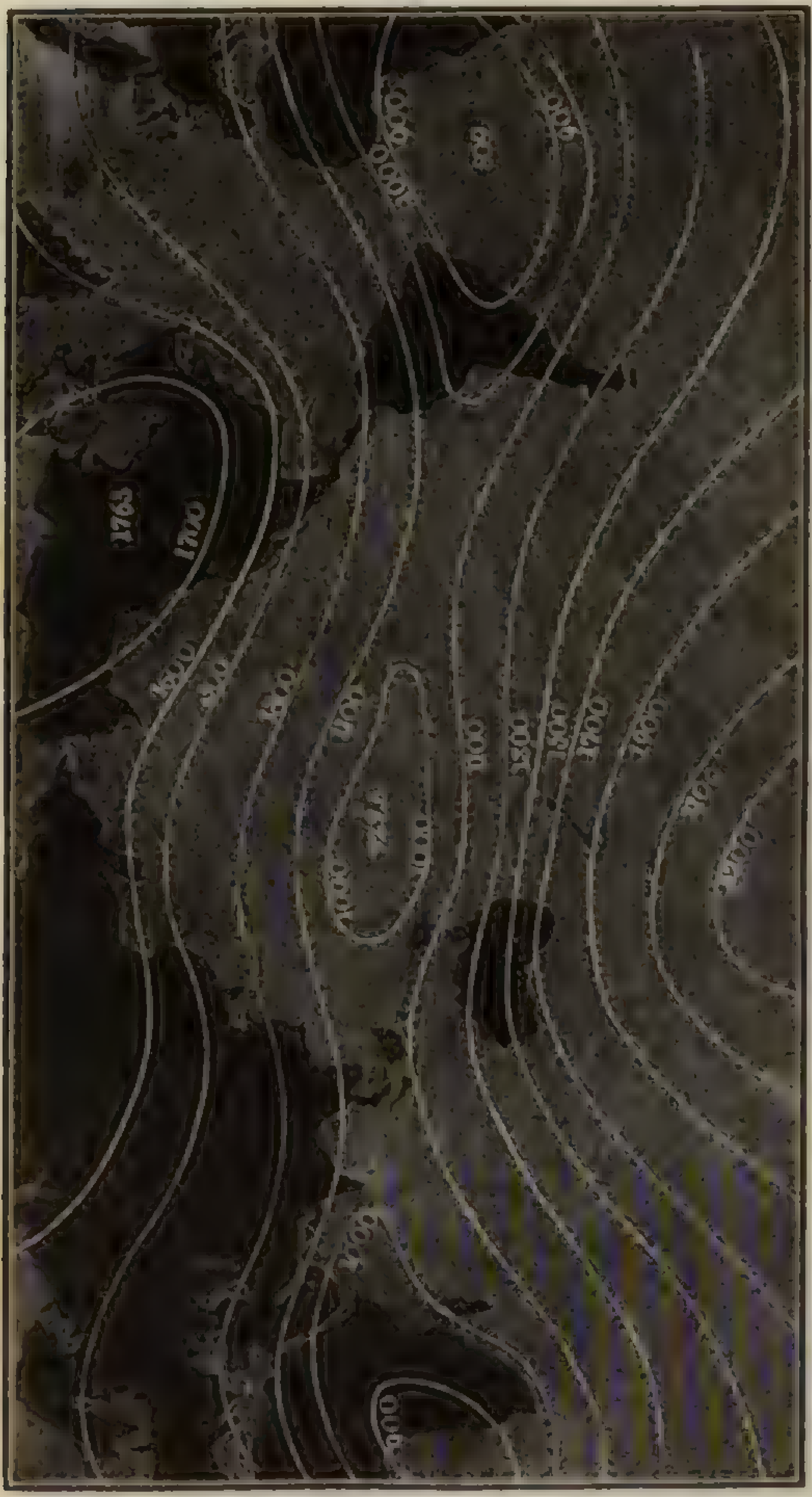


Die Größe der entsprechenden Inclination ist jeder Curve unserer Figuren beigeschrieben. Die mit 90 bezeichneten Punkte in Fig. 598 und 599 sind die magnetischen Pole; es sind dies dieselben Punkte, in welchen die Declinationscurven in Fig. 595 und 596 zusammenlaufen.

Die beiden magnetischen Pole der Erde liegen einander nicht diametral gegenüber, d. h. eine die beiden Pole verbindende gerade Linie geht nicht durch den Mittelpunkt der Erde, sondern diese Linie bildet eine Sehne, welche von dem durch die beiden Pole gelegten größten Kreise einen Bogen von 161° 13′ abschneidet.

In den Karten Fig. 600, 601 und 602 sind die isodynamischen Linien nach den berechneten Werthen der ganzen Intensität aufgetragen. Man sieht, daß es auf der nördlichen Halbkugel zwei Orte giebt, an welchen die Intensität ein Maximum, d. h. größer als in allen rund herum gelegenen Orten ist;

Fig. 600.



ein solches Maximum der Intensität findet sich in Nordamerika etwas westlich von der Hudsonsbay, Fig. 600, ein zweites im nördlichen Asien, Fig. 601. Dieser Umstand hat einige Gelehrte veranlaßt, die Existenz von zwei magnetischen Polen auf der nördlichen Halbkugel anzunehmen; um zu entscheiden, ob dies wirklich der Fall ist, muß man vor allen Dingen feststellen, was man unter einem magnetischen Pole der Erde versteht. Gewöhnlich nennt man, wie wir es auch gethan haben, diejenigen Orte der Erdoberfläche magnetische Pole, an welchen der horizontale Theil der Erdkraft verschwindet; man könnte aber unter einem magnetischen Pole auch eine solche Stelle verstehen, für welche die Intensität des Magnetismus ein Maximum ist. Diese beiden Begriffe sind aber nun durchaus nicht identisch, es kann an einem Orte die horizontale Composante des Erdmagnetismus verschwinden, die Inclinationsnadel kann sich vertical stellen, ohne daß deshalb hier auch ein Maximum der Intensität zu finden ist; umgekehrt kann an einem Orte die Intensität des Erdmagnetismus sehr wohl ein Maximum seyn, ohne daß sich die Inclinationsnadel vertical stellt.

Nimmt man das Wort Pol im gewöhnlichen Sinne, so giebt es nur einen

magnetischen Nordpol. An diesem Nordpole ist die Intensität des Erdmagnetismus kein Maximum; an den beiden Orten aber, für welche die Intensität ein Maximum ist, stellt sich die Inclinationsnadel nicht vertical, diese Orte sind also nach unserer Begriffsbestimmung keine magnetischen Pole.

Fig. 601.

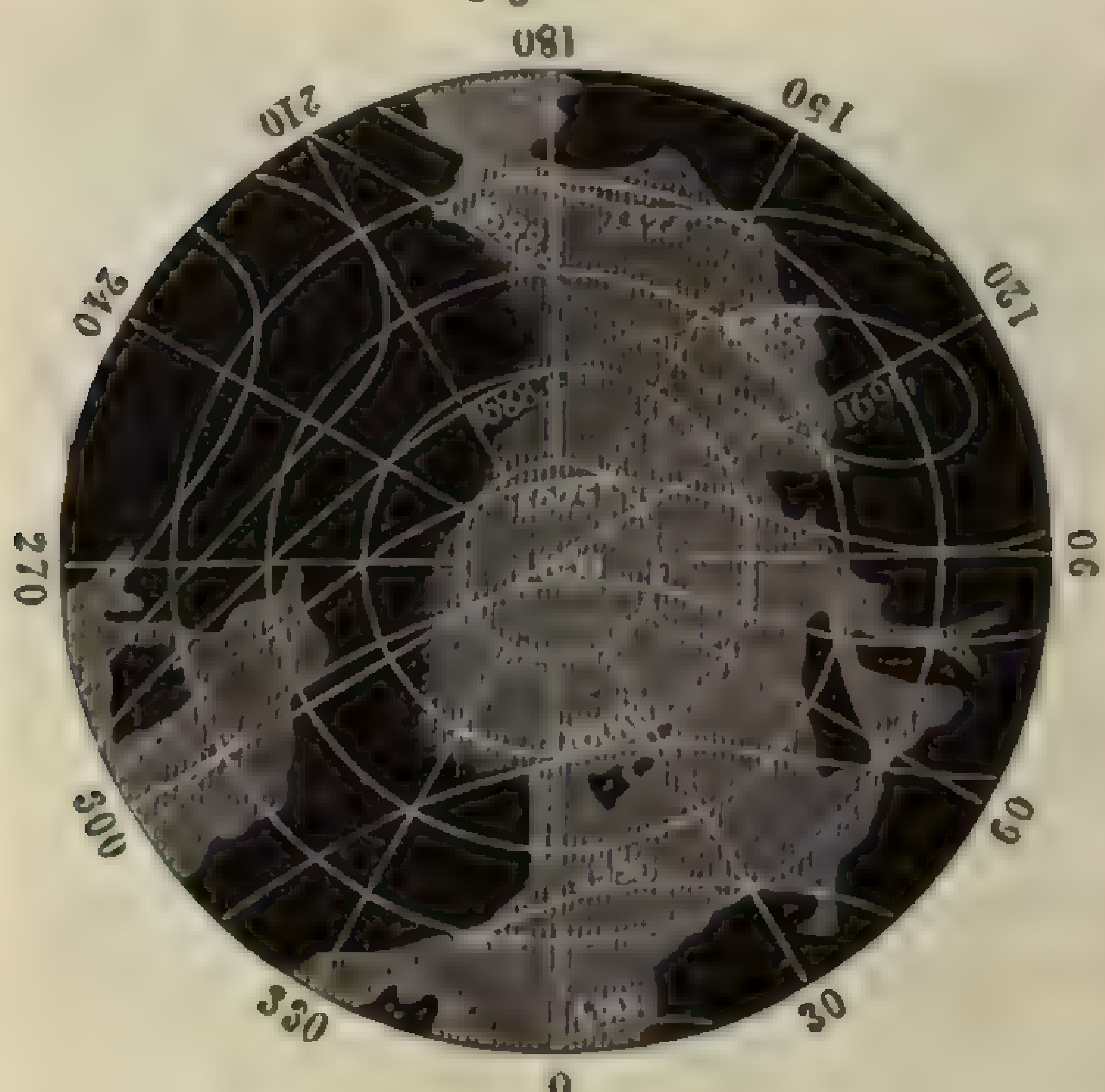
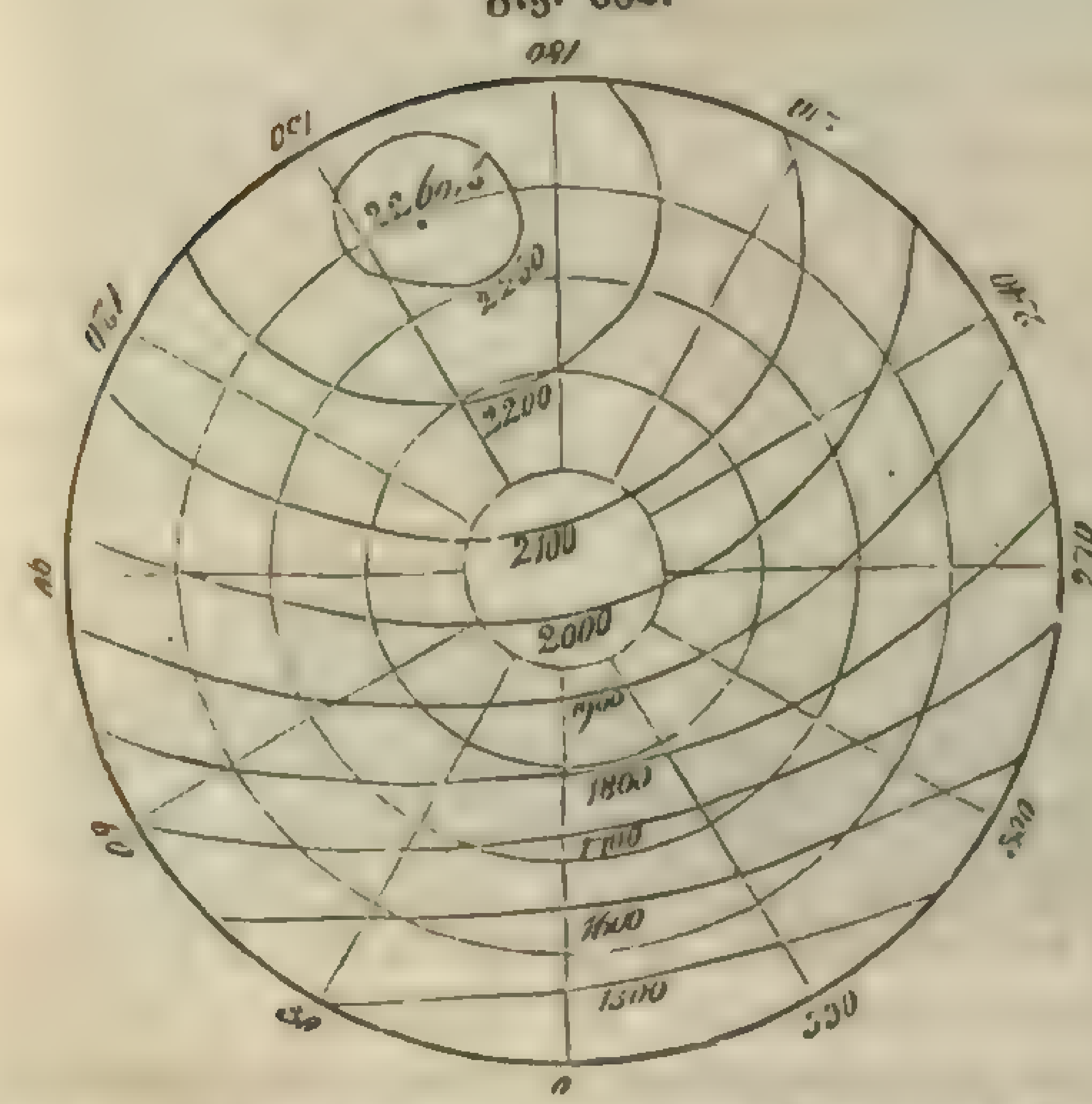


Fig. 602.



Die den isodynamischen Linien beigeschriebenen Zahlen geben den Werth der Intensität nicht nach dem schon im ersten Theile besprochenen absoluten Maaße, sondern nach der bisher üblichen willkürlichen Einheit an, nach welcher die Intensität für London 1,372 ist; nur sind diese Zahlen, um Brüche zu vermeiden, noch mit 1000 multiplicirt. Um die Zahlen unserer Karte auf das absolute Maaß zu reduciren, sind sie nur mit 0,0034941 zu multipliciren.

Theorie des Erdmagnetismus. Die einfachste und älteste Hypothese, welche zur Erklärung der Erscheinungen des Erdmagnetismus aufgestellt worden, ist die, einen kleinen Magneten im Mittelpunkte der Erde anzunehmen, oder vielmehr anzunehmen, der Magnetismus sey in der Erde so vertheilt, daß die Gesammtwirkung nach außen der Wirkung eines fingirten kleinen Magneten im Mittelpunkte der Erde gleich sey. Daß eine solche Annahme sich mit den Beobachtungen nicht verträgt, sieht man auf den ersten Blick. Nach dieser Hypothese wären die magnetischen Pole diejenigen Punkte der Erdoberfläche, in welchen dieselbe von der verlängerten Axe des Centralmagneten getroffen wird; in diesen Polen müßte zugleich die Intensität ein Maxi- 258

mum seyn; der magnetische Aequator wäre ein größter Kreis, und alle isoclinischen Linien mit demselben parallel u. s. w. Tobias Mayer hat diese Hypothese dadurch modificirt, daß er den fingirten Magneten um den 7. Theil des Erdhalbmessers von dem Mittelpunkte der Erde entfernt annahm; Hansteen versuchte, die Erscheinungen durch die Annahme von zwei kleinen Magneten von ungleicher Lage und Stärke zu erklären. Alle diese Versuche gaben jedoch keine genügenden Resulte.

Gauß hat endlich einen anderen Weg eingeschlagen, indem er nicht wie seine Vorgänger von einer einfachen Hypothese über die magnetische Vertheilung in der Erde ausging und dann die Resultate dieser Hypothese mit der Erscheinung verglich, sondern er suchte gleich die Frage zu beantworten: wie muß dieser große Magnet beschaffen seyn, um den Erscheinungen Genüge zu leisten?

Die Gauß'sche Theorie läßt sich ohne Hülfe höherer Rechnung nicht entwickeln, da es sich hier darum handelt, das Zusammenwirken aller magnetischen Kräfte, die keineswegs gleichförmig und regelmäßig vertheilt sind, in mathematischen Formen darzustellen; wir müssen uns also darauf beschränken, die Grundideen dieser Theorie auzubeuten.

Die Grundlage der Gauß'schen Theorie ist die Voraussetzung, daß die erdmagnetische Kraft die Gesammtwirkung der magnetisirten Theile des Erdkörpers ist. Das Magnetisirtseyn stellt er sich als eine Scheidung der magnetischen Flüssigkeit in der Weise vor, wie wir dies schon im zweiten Bande, S. 8, entwickelt haben. Eine Vertauschung dieser Vorstellungsart mit der Ampère'schen würde in den Resultaten nichts ändern. Dies vorausgesetzt, wird die Gesammtheit aller magnetisirten Theile des Erdballs auf jeden Punkt im Raume eine bestimmte Wirkung ausüben, und diese Wirkung wird von einem Punkte des Raums zum anderen sich ändern müssen. Wir haben hier nur diejenigen Punkte des Raumes zu betrachten, welche auf der Erdoberfläche liegen. Zunächst ist demnach klar, wie auch der freie Magnetismus im Inneren der Erde vertheilt seyn mag, die Wirkung wird in verschiedenen Punkten der Erdoberfläche nicht dieselbe seyn, sie wird von der geographischen Länge und Breite des Ortes abhängen, den man gerade betrachtet. Die Wirkungen des Erdmagnetismus müssen sich also durch Gleichungen ausdrücken lassen, in denen die Länge und die Breite die veränderlichen Größen sind; die Constanten dieser Gleichungen aber hängen von der Art und Weise ab, wie der freie Magnetismus in der Erde vertheilt ist.

Zunächst entwickelt Gauß auf diese Weise eine Gleichung für den Werth des magnetischen Potentials, einer Größe, aus welcher sich die Werthe der nördlichen, westlichen und verticalen Composante der erd-magnetischen Kraft und aus diesen dann wieder Declination, Inclination und totale Intensität leicht berechnen lassen.

Das magnetische Potential, welches also zunächst als eine wichtige Hülfsgröße für die Berechnung des Erdmagnetismus dient, hat aber auch eine physikalische Bedeutung. Denken wir uns an irgend einer Stelle der

Erdoberfläche eine verticale Röhre angebracht, deren Querschnitt 1 Quadratmillimeter beträgt, und diese Röhre bis zu einer Höhe, in welcher die Wirkung des Erdmagnetismus unmerklich wird, mit nordmagnetischem Fluidum in der Weise gefüllt, daß jedes Cubikmillimeter 1 Maaß (nach der bekannten absoluten Einheit) dieses Fluidums enthält, so stellt uns das magnetische Potential den Druck dar, welchen der Boden dieser Röhre dadurch auszuhalten hat, daß der Erdmagnetismus die in der Röhre enthaltene Flüssigkeit anzieht; da, wo das nordmagnetische Fluidum von dem Erdmagnetismus abgestoßen werden würde, hat man sich die Röhre in gleicher Weise mit südmagnetischem Fluidum gefüllt zu denken.

Fig. 603.



In den Karten Fig. 603 604 und 605 sind die Linien gleicher Werthe des magnetischen Potentials dargestellt; die beigeschriebenen Zahlen beziehen sich nicht auf absolutes Maaß, sondern auf die bekannte willkührliche Einheit; sie können durch Multiplication mit 0,0034941 auf absolutes Maaß reducirt werden.

Die Curven gleicher Werthe des magnetischen Potentials wollen wir **Gleichgewichtslinien** nennen.

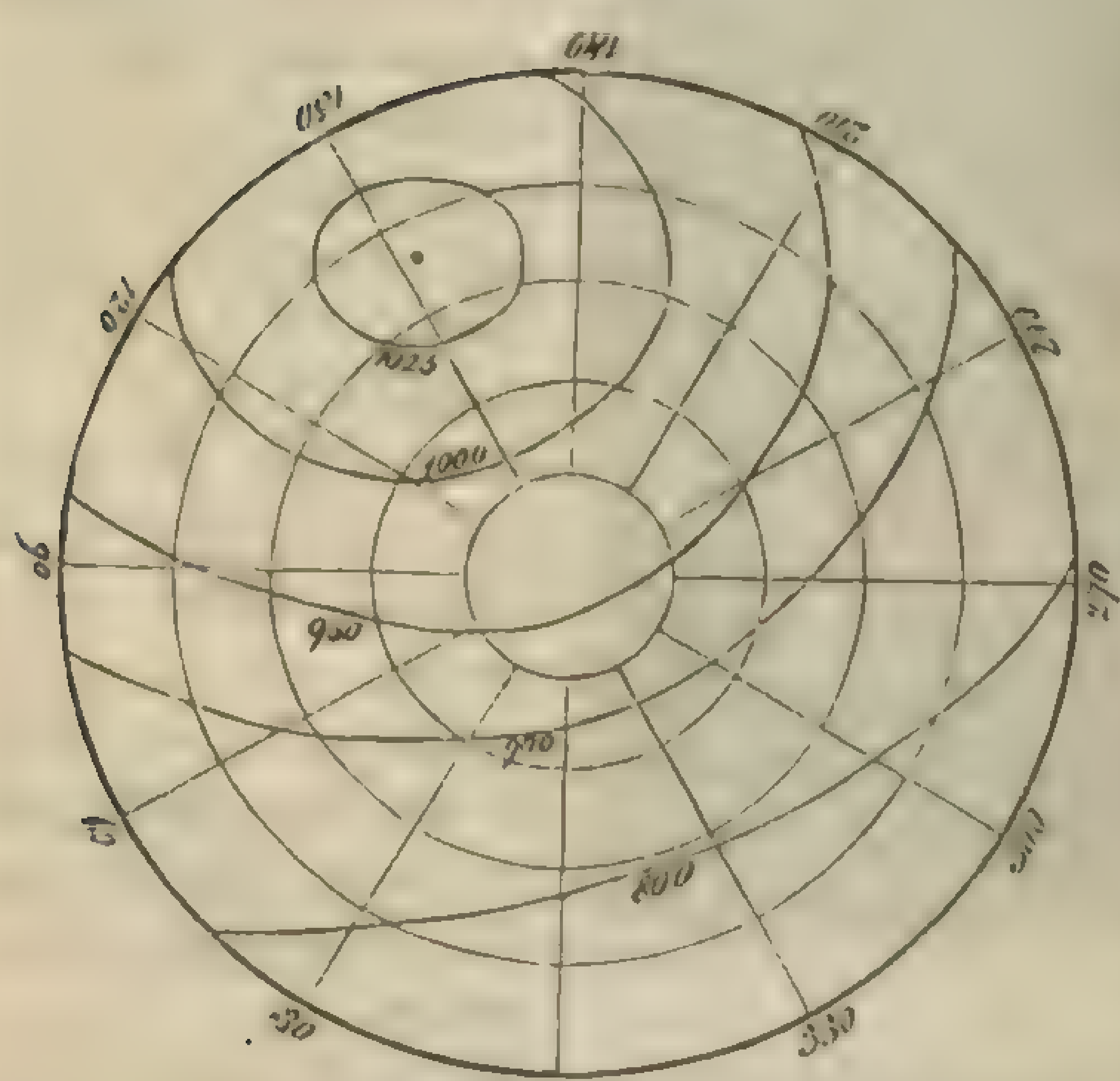
Aus dem Laufe der Gleichgewichtslinien ergiebt sich die Richtung der horizontalen Magnetnadel auf eine sehr einfache Weise, indem, wie Gauß gezeigt hat, die Richtung der Declinationsnadel stets rechtwinklig auf den Gleichgewichtslinien stehen muß. Aus dem Laufe dieser Curven kann man die Richtung der Boussole für jeden Ort der Erdoberfläche auf eine ungleich einfachere und übersichtlichere Weise ableiten, als es mittelst der Declinationskarte möglich ist.

Zwischen den Werthen des magnetischen Potentials und der horizontalen Intensität findet folgende Beziehung Statt. Denken wir uns auf einer Karte nur solche Gleichgewichtslinien gezogen, welche gleichen Differenzen des magnetischen Potentials entsprechen, wie dies z. B. in der Karte Fig. 603 der Fall ist, wo die Curven den immer um 100 wachsenden Werthen des magnetischen Potentials entsprechen, so ist die horizontale Intensität der Entfernung der Gleichgewichtscurven umgekehrt proportional; die horizontale Intensität ist also für solche Gegenden am größten, für welche die Gleichgewichtslinien am dichtesten sind; je weiter die gleichen Differenzen des Potentials entsprechender Curven auseinanderrücken, desto kleiner wird die horizontale Intensität.

Fig. 604.



Fig. 605.



Aus der horizontalen Intensität ergiebt sich leicht die nördliche und westliche Composante, da ja durch den Lauf der Gleichgewichtslinien auch die Richtung der horizontalen magnetischen Kraft bestimmt ist.

Aus den Werthen des magnetischen Potentials ergeben sich auch die Werthe der verticalen Intensität; doch können wir diesen Zusammenhang hier nicht weiter verfolgen. Sind aber erst die drei Composanten der erdmagnetischen Kraft bestimmt, so kann man auch noch leicht die Größe und Richtung der ganzen Intensität ermitteln.

Wenn man in den Werthen für das magnetische Potential und die drei Composanten der erdmagnetischen Kraft nur diejenigen Glieder noch berücksichtigt, welche mit den 4ten Potenzen der veränderlichen Größen (Länge und Breite) behaftet sind, die höheren Potenzen aber vernachlässigt, so bleiben in den Werthen noch 24 constante Coëfficienten zu bestimmen. Diese Coëfficienten können wir nun nicht a priori aus der Vertheilung des freien Magnetismus in der Erde ableiten, weil wir ja noch nichts über die Art wissen, wie der freie Magnetismus vertheilt ist; die 24 Coëfficienten müssen demnach durch die Combination von 24 verschiedenen Beobachtungen bestimmt werden. Die genaue Bestimmung der 3 Elemente des Erdmagnetismus an 8 verschiedenen Orten der Erdoberfläche würde also hinreichen, um die 24 Coëfficienten zu ermitteln.

Sind einmal die constanten Coëfficienten bekannt, so kann man nach den erwähnten Gleichungen die Werthe der drei Composanten der erdmagnetischen Kraft und folglich auch die Declination, die Inclination und die ganze Intensität für jeden Ort der Erdoberfläche berechnen, wenn man für die Länge und Breite die diesem Orte entsprechenden Zahlenwerthe in die Gleichungen setzt.

Da es an einer hinlänglich genauen Bestimmung aller drei Elemente des Erdmagnetismus für acht weit genug von einander entfernte Orte der Erdoberfläche fehlt, so muß man mehr Beobachtungen zu Hülfe nehmen, als eigentlich zur Bestimmung der Coëfficienten nöthig sind. Auf diese Weise werden sich für denselben Coëfficienten mehrere verschiedene Werthe ergeben, und man hat alsdann nach der Methode der kleinsten Quadrate den wahrscheinlichsten Mittelwerth für jeden Coëfficienten zu ermitteln.

Das Nordlicht gehört unstreitig zu den prächtigsten, aber auch zu den 259
räthselhaftesten Erscheinungen; es wird hier, wie dies gewöhnlich geschieht, im Kapitel vom Erdmagnetismus abgehandelt, weil es mit demselben in einer gewissen Beziehung zu stehen scheint, indem das Phänomen stets in der Richtung des magnetischen Meridians beobachtet wird und sein Erscheinen in der Regel bedeutende Oscillationen der Declinationsnadel veranlaßt.

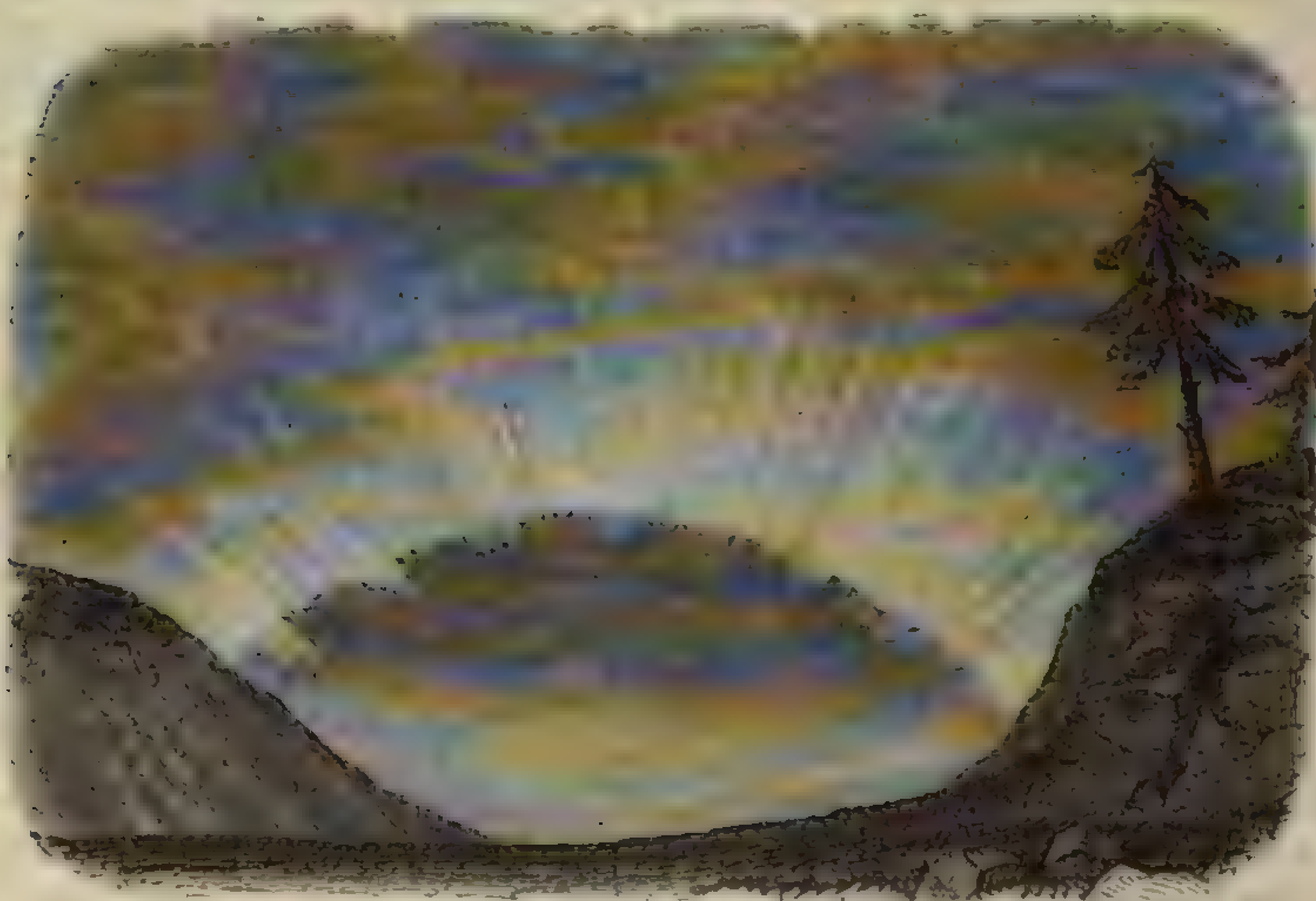
In unseren Gegenden ist die Erscheinung des Nordlichts ziemlich selten; sehr schöne Nordlichter wurden in Deutschland unter anderen am 7. Januar 1831 und im Februar 1836 beobachtet. Fig. 606 (a. f. S.) soll das Nordlicht darstellen, wie es gewöhnlich bei uns gesehen wird; es ist jedoch zu bemerken, daß es schwierig ist, durch Beschreibung und Abbildung eine recht klare Vorstellung des Phänomens zu geben.

In höheren Breiten, in den nördlichen Theilen von Europa, Asien und Amerika sind die Nordlichter weit häufiger und ungleich prächtiger als bei uns.

Möge es erlaubt seyn, hier die Beschreibung eines Nordlichts folgen zu lassen, wie es Lottin beobachtete. Das meteorologische Observatorium, auf welchem Lottin 8 Monate, vom September 1838 bis zum April 1839, zubrachte, war zu Bossekop auf der Küste von West-Finnmark unter dem

70. Grade nördlicher Breite aufgeschlagen worden. In 206 Tagen beobachtete man daselbst 143 Nordlichter, und zwar 64 während der längsten Nacht, welche in jenen Gegenden vom 17. November bis zum 25. Januar dauert.

Fig. 606.



»Des Abends zwischen 4 und 8 Uhr färbt sich der obere Theil des leichten Nebels, welcher fast beständig nach Norden hin in einer Höhe von 4 bis 6° herrscht; dieser lichte Streifen nimmt allmälig die Gestalt eines Bogens von blaßgelber Farbe an, dessen Ränder verwaschen erscheinen und dessen Enden sich auf die Erde aufstützen.

»Dieser Bogen steigt allmälig in die Höhe, während sein Gipfel stets nahe in der Richtung des magnetischen Meridians bleibt.

»Bald erscheinen schwärzliche Streifen, welche den lichten Bogen trennen, und so bilden sich Strahlen, welche sich bald rasch, bald langsam verlängern oder verkürzen. Der untere Theil dieser Strahlen zeigt immer den lebhaftesten Glanz und bildet einen mehr oder weniger regelmäßigen Bogen. Die Länge der Strahlen ist sehr verschieden, sie convergiren aber nach einem Punkte des Himmels, welcher durch die Richtung des Südendes der Inclinationsnadel angedeutet ist. Manchmal verlängern sich die Strahlen bis zu diesem Punkte und bilden so ein Bruchstück eines ungeheuren Lichtgewölbes.

»Der Bogen fährt fort, gegen das Zenith hin zu steigen; in seinem Glanze zeigt sich eine undulatorische Bewegung, d. h. der Glanz der Strahlen wächst der Reihe nach von einem Fuße zum anderen; diese Art Lichtstrom zeigt sich oft mehrmals hinter einander, aber häufiger von Westen nach Osten als in entgegengesetzter Richtung. Manchmal, aber selten, folgt die rückgängige Bewegung unmittelbar auf die erste, und wenn der Glanz der Reihe nach alle Strahlen von Westen nach Osten durchlaufen hat, nimmt seine Bewegung eine

entgegengesetzte Richtung an und kehrt zu seinem Ausgangspunkte zurück, ohne daß man eigentlich recht sagen kann, ob die Strahlen selbst eine horizontale Verrückung erleiden, oder ob sich der Glanz von Strahl zu Strahl fortpflanzt, ohne daß die Strahlen ihre Stelle verändern.

»Der Bogen zeigt auch in horizontaler Richtung eine Bewegung, welche den Undulationen oder Biegungen eines vom Winde bewegten Bandes oder einer Fahne nicht unähnlich ist. Manchmal verläßt einer der Füße oder selbst beide den Horizont; dann werden diese Biegungen zahlreicher und deutlicher; der Bogen erscheint nur als ein langes Strahlenband, welches sich entwickelt, sich in mehrere Theile trennt und graziöse Windungen bildet, welche sich fast selbst schließen und das bilden, was man wohl die Krone genannt hat. Alsdann ändert sich plötzlich die Lichtintensität der Strahlen, sie übertrifft die der Sterne erster Größe; die Strahlen schießen mit Schnelligkeit, die Biegungen bilden und entwickeln sich, wie die Windungen einer Schlange; nun färben sich die Strahlen, die Basis ist roth, die Mitte grün, der übrige Theil behält ein blaßgelbes Licht. Diese Farben behalten immer ihre gegenseitige Lage und haben eine bewundernswürdige Durchsichtigkeit. Das Roth nähert sich einem hellen Blutroth, das Grün einem blassen Smaragdgrün. —

»Der Glanz nimmt ab, die Farben verschwinden, die ganze Erscheinung erlischt entweder plötzlich, oder sie wird nach und nach schwächer. Einzelne Stücke des Bogens erscheinen wieder, er bildet sich von Neuem, er setzt seine aufsteigende Bewegung fort und nähert sich dem Zenith; die Strahlen erscheinen durch die Perspective immer kürzer, alsdann erreicht der Gipfel des Bogens das magnetische Zenith, einen Punkt, nach welchem die Südspitze der Inclinationsnadel hinweist. Nun sieht man die Strahlen von ihrem Fuße aus. Wenn sie sich in diesem Augenblicke färben, so zeigen sie ein breites rothes Band, durch welches hindurch man die grüne Färbung der oberen Theile erblickt. — — —

»Unterdessen bilden sich neue Bogen am Horizonte, welche entweder anfangs verschwommen erscheinen, oder durch lebhafte Strahlen gebildet sind. Sie folgen einander, indem alle fast dieselben Phasen durchlaufen und in bestimmten Zwischenräumen von einander bleiben; man hat deren bis zu 9 gezählt, welche, auf die Erde gestützt, durch ihre Anordnung an die oberen Coulissen unserer Theater erinnern, die, auf die Seitencoulissen gestützt, den Himmel der Theaterscene bilden. Manchmal werden die Zwischenräume kleiner, mehrere dieser Bogen drängen einander. — So oft die Strahlen am hohen Himmel das magnetische Zenith überschritten haben, scheinen sie von Süden her nach diesem Punkte zu convergiren und bilden alsdann mit den übrigen von Norden kommenden die eigentliche Krone. Die Erscheinung der Krone ist ohne Zweifel nur eine Wirkung der Perspective, und ein Beobachter, welcher in diesem Augenblicke weiter nach Süden hin sich befindet, wird sicherlich nur einen Bogen sehen können. —

»Denkt man sich nun ein lebhaftes Schießen von Strahlen, welche beständig sowohl in Beziehung auf ihre Länge, als auf ihren Glanz sich ändern, daß sie die herrlichsten rothen und grünen Farbentöne zeigen, daß eine wellenartige

Bewegung stattfindet, daß Lichtströme einander folgen und endlich, daß das ganze Himmelsgewölbe eine ungeheure prächtige Lichtkuppel zu seyn scheint, welche über einen mit Schnee bedeckten Boden ausgebreitet ist und einen blendenden Rahmen für das ruhige Meer bildet, welches dunkel ist wie ein Asphaltsee, so hat man eine unvollständige Vorstellung von diesem wunderbaren Schauspiele, auf dessen Beschreibung man verzichten muß.

„Die Krone dauert nur einige Minuten; sie bildet sich manchmal plötzlich, ohne daß man vorher einen Bogen wahrnahm. Selten sieht man zwei in einer Nacht, und viele Nordlichter zeigen keine Spur davon.

»Die Krone wird schwächer, das ganze Phänomen ist nun südlich vom Zenith, immer blassere Bogen bildend, welche in der Regel verschwinden, ehe sie den südlichen Horizont erreichen. Gewöhnlich beobachtet man dies Alles nur in der ersten Hälfte der Nacht; nachher scheint das Nordlicht seine Intensität verloren zu haben, die Strahlen scheinen verwaschen, sie bilden schwache, unbestimmt begränzte Lichtschimmer, welche endlich, kleinen Cumulus ähnlich, auf dem Himmel gruppirt sind. — Allmälig erscheint die Morgenröthe, die Erscheinung wird immer schwächer und endlich ganz unsichtbar.

»Manchmal sieht man die Strahlen noch, wenn der Tag schon angebrochen, wenn es schon so hell ist, daß man lesen kann; dann aber verschwinden sie schnell, oder sie werden vielmehr um so bestimmter, je mehr die Helligkeit zunimmt, sie nehmen eine weißliche Farbe an und vermischen sich so mit den Cirrostratus, daß man sie nicht mehr von diesen Wolken unterscheiden kann.«

Dies ist die Erscheinung des Nordlichts, wenn sie sich in ihrer ganzen Pracht entwickelt; aber, mag nun der Zustand der Atmosphäre oder mögen die Umstände, welche die Erscheinung veranlassen, nicht immer ganz günstig seyn, ein vollständiges Nordlicht wird selbst in den Polargegenden nur selten beobachtet. Bald ist die Krone, bald sind die Bogen unvollständig; oft wird das Licht durch Wolken aufgefangen, welche auf mannigfache Weise die regelmäßige Gestalt des Nordlichts modificiren. Man bemerkt alsdann nach Norden hin nur ein ungewöhnliches Licht; allein es ist verschwommen, die Erscheinung ist undeutlich.

Aehnliche Erscheinungen sind von Seefahrern auch in den Polargegenden der südlichen Hemisphäre beobachtet worden. Man kann sie Südlichter nennen.

Alphabetisches Inhaltsverzeichniß.

A.

M.

N.

Druckfehler.

Bd. I. S. 115 Zeile 2 von oben lies »den Poren der Blase« statt »der Poren der Flüssigkeit«.

» » S. 453 Zeile 2 von oben lies »nachgewiesen« statt »nachzuweisen«.

» II. S. 41 Zeile 13 von unten soll die Gleichung heißen:

$$K = \frac{10{,}1^2 + 1{,}75^2}{12}\,142 = 1243{,}36.$$

» » S. 191 Zeile 7 von oben lies »wenige« statt »weniger«.

Tab. I.

1



2



3.



Band II

Braunschweig. **PROSPECTUS.** October 1853.

Anleitung
zur
quantitativen chemischen
Analyse

oder

die Lehre von der Gewichtsbestimmung und Scheidung der in der Pharmacie, den Künsten, Gewerben und der Landwirthschaft häufiger vorkommenden Körper in einfachen und zusammengesetzten Verbindungen.

Für Anfänger und Geübtere

bearbeitet

von

Dr. C. Remigius Fresenius,

Professor der Chemie und Physik am landwirthschaftlichen Institute zu Wiesbaden und Vorsteher des chemischen Laboratoriums daselbst.

Dritte sehr vermehrte und verbesserte Auflage.

Mit in den Text eingedruckten Holzschnitten.

Gr. 8°. Fein Velinpapier. geh.

Braunschweig, Druck und Verlag von Friedrich Vieweg und Sohn.

Das Studium der Chemie hat in der neueren Zeit eine von der früherer Decennien wesentlich verschiedene Richtung angenommen. — Während man es sonst für ausreichend hielt, den Jüngern der Chemie bei dem Unterricht die Resultate der Wissenschaft mitzutheilen, verwendet man jetzt die grösste Sorgfalt darauf, dieselben auch mit den Methoden vertraut zu machen, nach denen die Resultate gefunden wurden, und mittelst welcher man neue zu gewinnen vermag.

Diesem Umstande verdanken die für den praktischen Unterricht bestimmten Laboratorien ihr Entstehen, und ihr Emporblühen beweist die Richtigkeit des Princips.

Seit man dasselbe beim Unterricht aufstellte, seit die Schüler der Chemie nicht nur in den Hörsälen, sondern auch in den Laboratorien gebildet werden, fing die Chemie an, die Bedeutung für das Leben zu gewinnen, welche ihr zukommen muss; denn das Wissen allein war ein todtes Capital, sobald sich aber die Kenntniss hinzugesellte, wie man es anwendet und nutzbar macht, gewann es Leben und Bewegung und trug reiche und herrliche Früchte.

Das Studium der praktischen Chemie umfasst vornehmlich drei Gebiete:

Die qualitative Analyse, die quantitative Analyse und die Darstellung chemischer Präparate.

Alle chemischen Arbeiten, grosse wie kleine, sind zusammengesetzt aus einzelnen Arbeiten, welche einem dieser Gebiete angehören.

Es konnte nun nicht fehlen, dass mit dem veränderten Gesichtspunkte auch die Methoden des Unterrichts in der praktischen Chemie sich ändern mussten; denn während früher ein Lehrer einen oder zwei Schüler hatte, die er unter seinen Augen operiren oder an seinen eigenen Arbeiten Theil nehmen liess, handelt es sich jetzt darum, dass ein Lehrer viele Schüler überwacht, und dass diese bei dem Unterrichte Vieles und Viel mit möglichst geringem Zeitaufwande erlernen. — Dieser Zweck wird aber am sichersten erreicht, wenn man die Erlernung in Bezug auf Reihenfolge und Auswahl des Einzelnen nicht dem Zufalle überlässt, sondern den Unterricht im Allgemeinen wie im Besonderen nach systematischem Plane anordnet. So macht man jetzt beim praktischen Unterricht fast überall mit der Erlernung der qualitativen Analyse den Anfang und lässt dann quantitative Analyse und Präparatendarstellung folgen, — so lässt man in der qualitativen Analyse nicht, wie früher, von vornherein unbekannte Verbindungen untersuchen, sondern von dem Lehrer selbst gemischte oder demselben in Bezug auf ihre Bestandtheile aufs Genaueste bekannte, und zwar erst einfache, dann zusammengesetztere bis zu den schwierigsten in consequenter Reihenfolge.

Um den Unterricht, wie die Selbstbelehrung in der chemischen Analyse im eben erwähnten Sinne zu erleichtern, schrieb ich meine „Anleitung zur qualitativen Analyse“. Die gute Aufnahme, welche derselben geworden ist, schien mir zu beweisen, dass ich meinen Zweck nicht ganz verfehlt habe. — In gleicher Absicht legte ich später dem Publicum meine „Anleitung zur quantitativen Analyse“ vor, deren dritte Auflage soeben erscheint. Dieselbe reiht sich ihrem ganzen Plane nach der erstgenannten Schrift (mit deren siebenter und achter Auflage sie in Betracht äusserer Ausstattung ganz übereinstimmt) als zweiter Theil an, so dass beide zusammen eine vollständige Anleitung zur einfacheren chemischen Analyse enthalten. Eben so gut aber kann sie auch als für sich verständliches, selbstständiges Ganzes gelten, wenn man davon absieht, dass zur Vermeidung von Wiederholungen, bei den Capiteln über Operationen und Reagentien das darüber in der „qualitativen Analyse“ Gesagte hier als bekannt vorausgesetzt wurde.

Bei der Ausarbeitung der vorliegenden Schrift hatte ich einerseits im Auge, sie zu einem geeigneten Leitfaden beim praktischen Unterrichte in den chemischen Laboratorien zu machen, andererseits aber sollte sie auch denjenigen jungen Chemikern, welche (wie z. B. ein grosser Theil der Pharmaceuten) auf Selbstbelehrung angewiesen sind, ein treuer Führer und Rathgeber bei ihren Arbeiten sein und ihnen den Mangel des Lehrers so viel als möglich ersetzen.

Um meine doppelte Absicht zu erreichen, musste Manches, namentlich die Lehre von den Operationen, mit einer Ausführlichkeit behandelt

werden, welche vielleicht nicht nothwendig gewesen wäre, wenn ich nur den ersten Zweck im Auge gehabt hätte. — Im Allgemeinen blieb ich den Grundsätzen getreu, welche ich bei meiner „Anleitung zur qualitativen Analyse" einhielt, d. h. ich strebte darnach, das Wichtigere von dem minder Wichtigen zu sondern und durch Consequenz, klare Darstellung und passende theoretische Erläuterung die Uebersicht über das ganze Gebiet, wie das Verständniss des Einzelnen nach Möglichkeit zu erleichtern. Um aber das Buch nicht nur in Hinsicht auf Methodik und Darstellung, sondern auch in Betreff seines reellen und praktischen Werthes nach Möglichkeit auszuzeichnen, war ich genöthigt, eine grosse Anzahl eigener Experimentaluntersuchungen zu machen. Alle einzelnen Methoden selbst experimentell zu prüfen, war mir natürlih unmöglich; getrost und zuversichtlich aber darf ich sagen, dass ich bei weitem die meisten Angaben nach eigener Erfahrung machte.

Bei der Anordnung bin ich einem neuen, in dem Buche selbst motivirten Plane gefolgt. Derselbe ist so natürlich und einfach, und der Zusammenhang unter den einzelnen Theilen so leicht verständlich, dass ich es für unnöthig erachte, hier noch besonders darauf einzugehen. Eine einfache Aufführung der Hauptabschnitte wird genügen, um das, was das Buch bietet, darzulegen.

I. Allgemeiner Theil:

A. Ausführung der Analyse.

1. Operationen. 2. Reagentien. 3. Formen und Verbindungen der Körper, in welchen sie von anderen abgeschieden, oder ihrem Gewichte nach bestimmt werden. 4. Gewichtsbestimmung der Körper in einfachen Verbindungen. 5. Trennung der Körper. 6. Organische Elementaranalyse.

B. Berechnung der Analysen.

II. Specieller Theil:

1. Analyse der natürlichen Gewässer, insbesondere der Mineralwasser. 2. Analyse solcher Mineralien und technischen Producte, welche besonders häufig Gegenstand chemischer Untersuchung werden, einschliesslich ihrer blossen Prüfung auf Gehalt und Handelswerth. 3. Analyse der Pflanzenaschen. 4. Analyse der Bodenarten. 5. Analyse der Düngerarten. 6. Analyse der atmosphärischen Luft.

III. Uebungsaufgaben.

Anhang.

1. Analytische Belege. 2. Tabellen zur Berechnung der **Analysen.**

Und somit übergebe ich dem Publicum mein Buch in seiner neuen Gestalt. Der Umstand, dass seit dem Erscheinen der zweiten Auflage die analytische Chemie wesentlich vorangeschritten ist, und dass namentlich auch die Maassanalyse einen mächtigen Aufschwung gewonnen hat, machte es nothwendig, dass die dritte Auflage gänzlich umgearbeitet werden musste, um den Fortschritten der Wissenschaft und ihrem gegenwärtigen Standpunkte zu entsprechen. — Möge das Buch dazu beitragen, die für alles tiefere und gründlichere Eindringen in die Chemie so

unentbehrliche quantitative Analyse zum Gemeingute eines grösseren Publicums zu machen, — möge es namentlich auch den Pharmaceuten, Technikern und Landwirthen, für welche ich es vornehmlich bestimmt habe, die Schwierigkeiten überwinden helfen, welche sich gleich beim Eingange in das für sie so wichtige Gebiet wirklich und scheinbar entgegenstellen, und möge es somit für die Chemie überhaupt den Nutzen stiften, den zu erreichen ich redlich bestrebt war.

Wiesbaden, im October 1853.

Dr. R. Fresenius.

Der Verleger hat dem oben Gesagten hinzuzufügen, dass die „Anleitung zur quantitativen Analyse" in zwei Lieferungen ausgegeben wird, von denen die zweite bis Ende December erscheint. Zahlreiche in den Text eingedruckte Holzstiche werden manche Bequemlichkeit und Erleichterungen des Verständnisses bieten.

Der Preis dieser dritten Auflage wird bei vermehrter Bogenzahl, grösserem Formate und compresserem Drucke mit kleineren, aber sehr schönen und deutlichen Lettern etwa 3 Thlr. für das vollständige Werk betragen.

Braunschweig, im October 1853.

Friedrich Vieweg und Sohn.

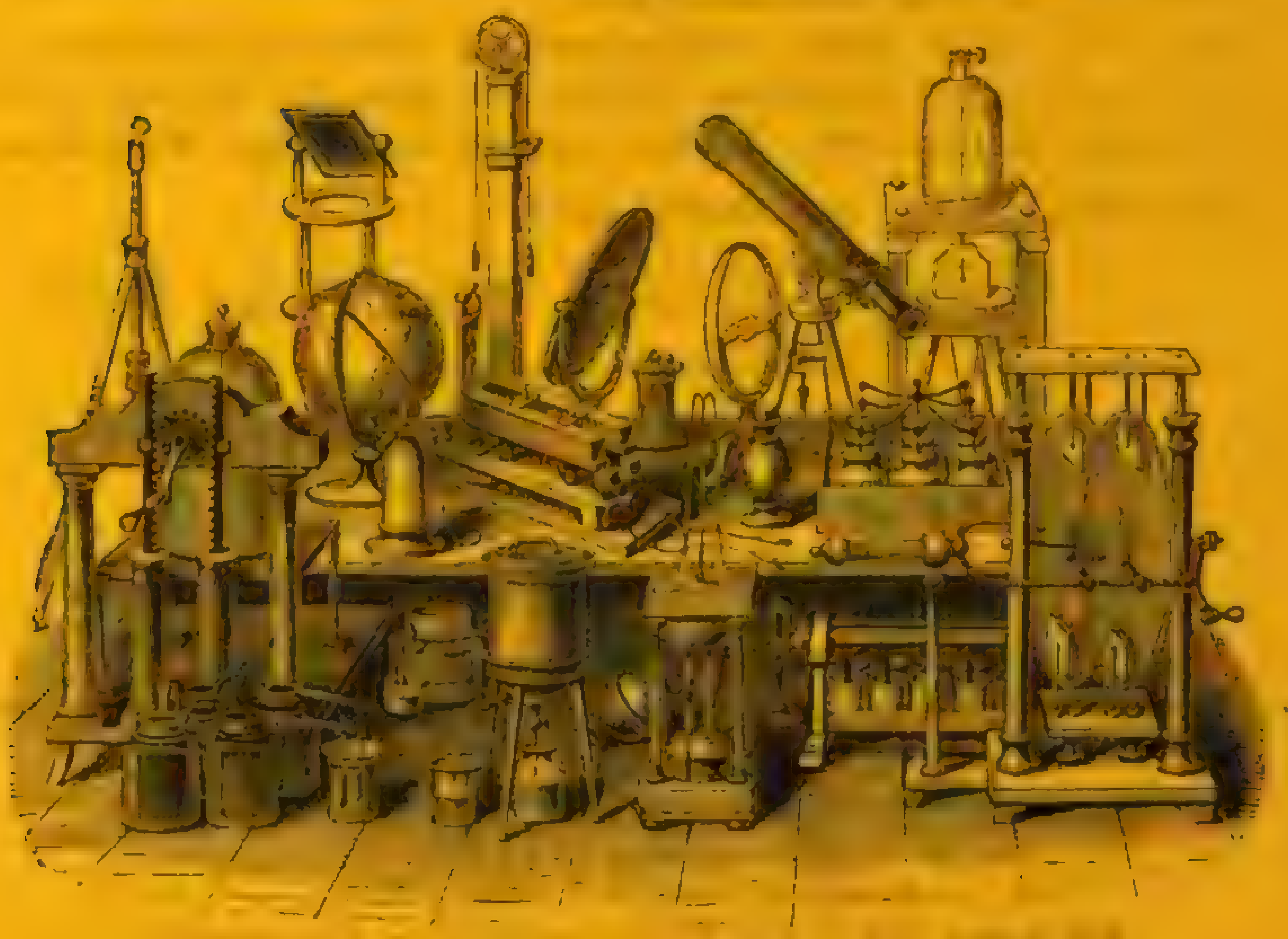
Pouillet-Müller's

Lehrbuch der Physik

und

Meteorologie.

Vierte umgearbeitete und vermehrte Auflage.



In zwei Bänden.

Mit 1404 in den Text eingedruckten Holzschnitten, 5 farbigen und 3 schwarzen Kupfertafeln.

Zweiter Band.

Braunschweig,
Druck und Verlag von Friedrich Vieweg und Sohn.
1853.

Im Verlage von Friedrich Vieweg und Sohn in Braunschweig ist erschienen:

Lehrbuch der reinen Mechanik

von

Duhamel,

Mitglied des französischen Instituts (Akademie der Wissenschaften).

Deutsch bearbeitet

für

Universitäten, polytechnische und Kriegs-Schulen, sowie zum Selbstunterrichte

von **Wilhelm Wagner.**

Mit in den Text eingedruckten Holzschnitten.

gr. 8. Fein Velinpap. geh. In zwei Theilen, jeder Theil in 2 Lieferungen. Preis jeder Lieferung 16 Ggr. (Erschienen ist Lieferung 1 bis 3 oder Bd. I. complet, und von Bd. II Lfrg. 1)

Unter den neueren Werken über reine Mechanik hat eines der ausgezeichnetsten der Cours de Mécanique von Duhamel, sich in kurzer Zeit solche Anerkennung und solchen Eingang bei unserm mathematischen Publicum erworben, daß das Bedürfniß einer deutschen Bearbeitung sich entschieden herausgestellt hat.

Das zunächst für die polytechnische Schule zu Paris bestimmte Duhamel'sche Lehrbuch dient bereits im Originale auch auf deutschen Universitäten und höheren technischen Anstalten als Unterrichtsbuch mit dem besten Erfolg. Diesen Erfolg wird das Werk, um so mehr in der deutschen Bearbeitung, überall da haben, wo dem Studium der angewandten oder praktischen Mechanik, und der speciellen Durchdringung ihrer einzelnen Theile, das Studium der theoretischen Mechanik vorangeht. Ein solches naturgemäßes Verhältniß hat gegenwärtig in Deutschland an allen bessern polytechnischen und höhern militairischen Lehranstalten Platz gegriffen, während auf der polytechnischen Schule zu Paris von Anfang ihres Bestehens dem so gewesen ist.

Besondere Empfehlung einer so anerkannt tüchtigen Arbeit erscheint überflüssig, doch darf hervorgehoben werden, daß keine von den wichtigeren neuen Arbeiten im Gebiete der analytischen Mechanik vom Verfasser übersehen ist; namentlich sind die Theorie der Kräftenpaare von Poinsot (welche man noch in dem bekannten Poisson'schen Werke gänzlich vermißt), so wie dessen Arbeiten über Drehungen der Körper vollständig in das Buch übergegangen und haben die geeignetste Darstellung und Entwickelung erfahren. Außer diesem und vielen anderen schätzbaren Vorzügen sind es die musterhaft klare und präcise Darstellungsweise, die gelungene Auswahl und Anordnung der vorgetragenen Materien, welche im Verein mit dem ganz angemessenen Umfange des Werkes diesem eine vorzügliche Brauchbarkeit für Lehranstalten sowohl als zum Selbstunterricht sichern.

Wir hoffen daher, Lehrern und Studirenden, sowie allen denen (auch Praktikern) welche, auf das Selbststudium der reinen Mechanik angewiesen, nicht hinlängliche Sprachkenntniß haben, um das Original mit Leichtigkeit zu studiren, einen Dienst durch die Erscheinung der deutschen Ausgabe zu erweisen.

Die vorliegende deutsche Bearbeitung wird mit Recht in jeder Hinsicht eine sehr sorgsame genannt werden. Die Vorzüge des Originals dürften in dieselbe vollständig übergegangen sein, und außerdem hat die Bearbeitung an nicht wenigen Stellen Berichtigungen oder Verdeutlichungen erfahren, welche zur Erleichterung des Selbstunterrichts sehr dienlich sein werden. Man wird sich durch aufmerksames Vergleichen der deutschen Ausgabe mit dem Original davon überzeugen. Auf Correctheit der typographischen Ausführung, vorzugsweise der Formeln, ist alle denkbare Sorgfalt verwendet worden.

Das Werk wird in vier Lieferungen, jede von 10 Bogen Stärke, erscheinen, und da der Schluß des Werkes ausgearbeitet vorliegt, so kann die Verlagshandlung ein rasches Erscheinen desselben versprechen.

Der Preis jeder Lieferung ist 16 Ggr. (20 Silbergroschen), für das ganze Werk mithin 2⅔ Thaler.

Da wo Mehre zum Ankaufe einer Anzahl von Exemplaren zusammentreten, z. B. auf Lehranstalten, ist jede Buchhandlung in den Stand gesetzt, auf 6 auf einmal bezogene Exemplare ein Frei-Exemplar zu bewilligen.

Die ersten Grundlehren der höheren Analysis

oder

Differenzial- und Integralrechnung.

Für das Studium der praktischen Mechanik und Naturlehre möglichst populär bearbeitet

von Julius Weisbach,

Professor an der Königl. Sächsischen Bergakademie zu Freiberg

Mit 38 in den Text eingedruckten Holzschnitten.

gr. 8. Fein Velinpap. geh. Preis 8 Ggr.

Müller, Johann Heinrich Jacob,

Pouillet's Lehrbuch der Physik und Meteorologie in zwei Bänden

Bd.: 2

Braunschweig 1853